

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 895 483**

51 Int. Cl.:

H02J 3/24 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

G01R 23/00 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.07.2018** **PCT/CN2018/095167**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.08.2019** **WO19148771**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.07.2018** **E 18867306 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.09.2021** **EP 3540896**

54 Título: **Método y aparato para el control de frecuencia primaria de aerogenerador**

30 Prioridad:

31.01.2018 CN 201810098153

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
21.02.2022

73 Titular/es:

**BEIJING GOLDWIND SCIENCE & CREATION
WINDPOWER EQUIPMENT CO., LTD. (100.0%)
No. 19 Kangding Road Beijing Economic &
Technological Development Zone Daxing District
Beijing 100176, CN**

72 Inventor/es:

**YU, MENGTING y
HAN, MEI**

74 Agente/Representante:

ROMERAL CABEZA, Ángel

ES 2 895 483 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

Método y aparato para el control de frecuencia primaria de aerogenerador

5 **Campo**

La presente divulgación se refiere al campo de la tecnología de control de sistemas de generación de energía eólica y, en particular, a un método y dispositivo de modulación de frecuencia primaria para una turbina eólica.

10 **Antecedentes**

Con el aumento continuo de la capacidad instalada de energía eólica, el impacto de las características operativas de una turbina eólica en la estabilidad de frecuencia de un sistema eléctrico es cada vez más evidente.

15 Dado que una turbina eólica funciona a menudo en un estado de potencia limitada y no puede estar en un estado óptimo de generación de potencia durante mucho tiempo, se necesita una tecnología de control capaz de realizar una modulación de frecuencia primaria en un estado de potencia limitada.

20 El documento US 2012/203384 A1 describe un procedimiento para controlar la potencia activa inyectada a la red por una central de generación para contribuir a la estabilidad de la red eléctrica ante variaciones de frecuencia en el que, en respuesta a una desviación en la frecuencia de red, cada unidad de generación calcula un parámetro de variación de potencia activa generado basándose en un primer parámetro almacenado en dicha unidad de generación, siendo dicho primer parámetro representativo de una contribución respectiva de dicha unidad de generación a una variación requerida en la potencia activa total de la central de generación, y en el que una unidad de control central de la central de generación conectada a cada unidad de generación actualiza el valor de los primeros parámetros cuando se producen cambios en los mismos.

30 El documento CN 106 374 496 A divulga una política de control de característica de modulación de frecuencia para un sistema de almacenamiento de energía-aerogenerador doblemente alimentado mediante la simulación de una máquina síncrona. La política de control se caracteriza por comprender las etapas de establecer el sistema de almacenamiento de energía-aerogenerador doblemente alimentado considerando la capacidad de modulación de frecuencia propia de energía eólica; permitir que el sistema de almacenamiento de energía-aerogenerador doblemente alimentado simule la configuración de capacidad de la característica de modulación de frecuencia de la máquina síncrona, y permitir que el sistema de almacenamiento de energía-aerogenerador doblemente alimentado realice un análisis de política de control de modulación de frecuencia y similares; establecer el sistema de almacenamiento de energía-aerogenerador doblemente alimentado mediante el análisis del requisito de modulación de frecuencia del sistema, combinación de la capacidad de modulación de frecuencia propia del aerogenerador doblemente alimentado y configuración razonable de la capacidad de almacenamiento de energía; asignar razonablemente la capacidad de modulación de potencia de acuerdo con diferentes tiempos de respuesta de frecuencia del aerogenerador y el sistema de almacenamiento de energía para dotar al sistema de almacenamiento de energía-aerogenerador doblemente alimentado de una capacidad de respuesta de frecuencia similar a la de un generador síncrono convencional para realizar una modulación de frecuencia bidireccional; y utilizando plenamente las ventajas complementarias del aerogenerador y el sistema de almacenamiento de energía a diferentes velocidades del aire en los aspectos de velocidad de respuesta de frecuencia, energía de modulación de frecuencia disponible y similares, reducir el coste de configuración del almacenamiento de energía.

Sumario

50 La invención está definida por las reivindicaciones independientes. La presente divulgación proporciona un método y dispositivo de modulación de frecuencia primaria para una turbina eólica, para mejorar la capacidad de modulación de frecuencia primaria y la estabilidad de sistema de la turbina eólica.

55 Según un aspecto de la presente divulgación, se proporciona un método de modulación de frecuencia primaria para una turbina eólica que incluye: detectar una frecuencia actual de una red eléctrica; determinar un valor de instrucción de una cantidad de cambio de potencia para una modulación de frecuencia primaria mediante un primer proceso de determinación cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que una frecuencia patrón de la red eléctrica, en el que el primer proceso de determinación puede incluir: determinar un valor de referencia de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria basándose en la frecuencia actual; y cuando se determina que actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica, comparar el valor de referencia con un valor de margen de potencia activa actual de la turbina eólica y determinar el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria; y realizar la modulación de frecuencia primaria basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia.

65 Según otro aspecto de la presente divulgación, se proporciona un dispositivo de modulación de frecuencia primaria para una turbina eólica que incluye: una unidad de detección configurada para detectar una frecuencia actual de una red eléctrica; una unidad de determinación configurada para determinar un valor de instrucción de una cantidad de

cambio de potencia para una modulación de frecuencia primaria mediante un primer proceso de determinación cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que una frecuencia patrón de la red eléctrica, en el que la unidad de determinación está configurada además para: determinar un valor de referencia de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria basándose en la frecuencia actual; y cuando se determina que actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica, comparar el valor de referencia con un valor de margen de potencia activa actual de la turbina eólica y determinar el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria; y una unidad de modulación de frecuencia configurada para realizar la modulación de frecuencia primaria basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia.

Breve descripción de los dibujos

Las características y ventajas de la presente divulgación resultarán más evidentes a partir de la descripción detallada a continuación con referencia a los dibujos, en los que:

La figura 1 es un diagrama de flujo que muestra un método de modulación de frecuencia primaria para una turbina eólica según una realización de la presente divulgación.

Las figuras 2 a 3 son diagramas que muestran los efectos de simulación de realizar una modulación de frecuencia primaria usando un método de modulación de frecuencia primaria para una turbina eólica según una realización de la presente divulgación;

La figura 4 es un diagrama de bloques que muestra un dispositivo de modulación de frecuencia primaria para una turbina eólica según una realización de la presente divulgación.

Descripción detallada

Se describirán con detalle realizaciones de la presente divulgación a continuación con referencia a los dibujos.

La figura 1 es un diagrama de flujo que muestra un método de modulación de frecuencia primaria para una turbina eólica según una realización de la presente divulgación.

En la etapa S10, puede detectarse una frecuencia actual de una red eléctrica. La frecuencia actual de la red eléctrica puede detectarse en tiempo real en el presente documento.

En la etapa S20, puede determinarse si es necesario que la turbina eólica entre en una modulación de frecuencia primaria.

La presente divulgación no limita la manera en que se determina si es necesario que la turbina eólica entre en la modulación de frecuencia primaria y puede determinarse si es necesario que la turbina eólica entre en la modulación de frecuencia primaria de diversas formas.

Como ejemplo, puede calcularse una desviación de frecuencia entre la frecuencia actual de la red eléctrica y una frecuencia patrón de la red eléctrica, y puede determinarse si la desviación de frecuencia supera una zona muerta de frecuencia. Al determinar si la desviación de frecuencia supera la zona muerta de frecuencia, puede determinarse si se requiere la modulación de frecuencia primaria. Cuando la desviación de frecuencia no supera la zona muerta de frecuencia, puede que no sea necesario realizar la modulación de frecuencia primaria, y el proceso puede volver a la etapa S10 para continuar detectando la frecuencia actual de la red eléctrica. Cuando la desviación de frecuencia supera la zona muerta de frecuencia, puede ser necesario realizar la modulación de frecuencia primaria, y puede realizarse la etapa S30.

La frecuencia patrón de la red eléctrica puede referirse a una frecuencia patrón de suministro de energía CA de la red eléctrica. La frecuencia patrón de la red eléctrica para diferentes países o regiones puede ser diferente. Por ejemplo, la frecuencia patrón de la red eléctrica en China es de 50 HZ y la frecuencia patrón de la red eléctrica en EE.UU. es de 60 HZ. La zona muerta de frecuencia puede referirse a un intervalo de fluctuación admisible de la desviación de frecuencia entre una frecuencia de la red eléctrica y la frecuencia patrón de la red eléctrica.

En la etapa S30, puede determinarse un valor de instrucción de una cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria. En la etapa S40, puede controlarse que la turbina eólica realice la modulación de frecuencia primaria basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria.

En algunas realizaciones, el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria puede referirse a una cantidad de cambio en un valor especificado de una potencia activa emitida por la turbina eólica en el momento de la modulación de frecuencia primaria en relación con una potencia emitida actual (es decir, una potencia emitida antes de entrar en la modulación de frecuencia primaria) de la turbina eólica.

En la técnica anterior, una cantidad de cambio en una potencia emitida por la turbina eólica requerida para equilibrar la desviación de frecuencia descrita anteriormente (es decir, un valor de referencia de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria, denominado más adelante en el presente documento valor de referencia) puede usarse generalmente como el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria. En la presente divulgación, cuando el valor de referencia es un número positivo, concretamente, cuando es necesario aumentar la potencia emitida en el momento de la modulación de frecuencia primaria, puede determinarse el valor de instrucción basándose en un valor de margen de potencia activa y el valor de referencia.

Específicamente, cuando la frecuencia actual es menor que la frecuencia patrón de la red eléctrica, puede determinarse el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria mediante un primer proceso de determinación. Cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que la frecuencia patrón de la red eléctrica, puede indicar que aumenta la carga del sistema de red eléctrica, y puede ser necesario que la turbina eólica aumente la potencia emitida en consecuencia, para equilibrar la cantidad de generación de energía con la carga del sistema de red eléctrica.

Como ejemplo, el primer proceso de determinación puede incluir: determinar el valor de referencia basándose en la frecuencia actual; y cuando se determina que actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica, comparar un valor de margen de potencia activa actual de la turbina eólica y el valor de referencia, y determinar el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria. Puede determinarse el valor de referencia descrito anteriormente basándose en la frecuencia actual, y el método de determinación se describirá con detalle más adelante.

Los expertos en la técnica entenderán que puede determinarse si hay un margen de potencia activa para la turbina eólica actualmente de diversas formas.

Como ejemplo, puede determinarse si hay un margen de potencia activa para la turbina eólica actualmente detectando un ángulo de paso actual de la turbina eólica. Por ejemplo, cuando el ángulo de paso actual de la turbina eólica es mayor que o igual a un valor mínimo de un ángulo de paso en el que se inicia el control de paso, se determina que actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica; y cuando el ángulo de paso actual de la turbina eólica es menor que un valor mínimo de un ángulo de paso en el que se inicia el control de paso, se determina que actualmente no hay margen de potencia activa para la turbina eólica. Dado que los ángulos de paso de las tres palas de la turbina eólica son sustancialmente iguales, puede usarse el ángulo de paso actual de cualquier pala como el ángulo de paso actual de la turbina eólica, o puede usarse el promedio de los ángulos de paso actuales de las tres palas como el ángulo de paso actual de la turbina eólica.

Cuando se determina que actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica, puede determinarse un valor de margen de potencia activa actual, y el valor más pequeño del valor de referencia y puede determinarse el valor de margen de potencia activa actual como el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria.

Específicamente, cuando el valor de margen de potencia activa es menor que el valor de referencia, puede indicar que el valor de margen de potencia activa actual de la turbina eólica puede no cumplir con el requisito de equilibrar la desviación de frecuencia anterior, entonces en primer lugar debe garantizarse que la turbina eólica funciona de manera estable y, en segundo lugar, puede proporcionarse la potencia de modulación de frecuencia en su máxima extensión. Por tanto, en este caso, el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria debe ser el valor de margen de potencia activa.

Cuando el valor de margen de potencia activa es mayor que o igual al valor de referencia, puede indicar que el valor de margen de potencia activa actual de la turbina eólica puede cumplir con el requisito de equilibrar la desviación de frecuencia anterior, entonces la turbina eólica puede proporcionar la potencia de modulación de frecuencia basándose en el valor de referencia. Por tanto, en tal caso, el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria debe ser el valor de referencia.

Los expertos en la técnica entenderán que puede determinarse el valor de margen de potencia activa actual de la turbina eólica de diversas formas.

Como ejemplo, puede determinarse el valor de margen de potencia activa actual basándose en un ángulo de paso actual, una función de transferencia de controlador proporcional integral (PI) y un valor mínimo de un ángulo de paso en el que se inicia el control de paso. La función de transferencia de controlador PI puede indicar una relación de correspondencia entre un valor de margen de potencia activa, un ángulo de paso actual y el valor mínimo.

Como ejemplo, la función de transferencia de controlador PI puede ser tal como se muestra en la ecuación (1) a continuación:

$$\Delta P_{pre} = K_P(\beta - \beta_{min}) + K_i \int_0^t (\beta - \beta_{min}) dt \quad (1)$$

donde ΔP_{pre} puede representar un valor de margen de potencia activa, K_P puede representar un coeficiente proporcional, K_i puede representar un coeficiente integral, β puede representar un ángulo de paso actual, y β_{min} puede representar un valor mínimo de un ángulo de paso en el que se inicia el control de paso.

La presente divulgación no limita la manera en la que se determina el valor de margen de potencia activa actual, y puede determinarse el valor de margen de potencia activa actual de otras maneras.

El método de determinación del valor de referencia anterior basándose en la frecuencia actual se describirá con detalle a continuación.

Como ejemplo, puede obtenerse el valor de referencia basándose en una relación de mapeo entre los valores de referencia y las frecuencias actuales. La relación de mapeo puede obtenerse basándose en datos empíricos históricos o datos experimentales, o puede obtenerse basándose en directrices de red eléctrica correspondientes. La presente divulgación no limita la manera en que se determina el valor de referencia, y puede determinarse el valor de referencia anterior de otras maneras.

En el primer proceso de determinación descrito anteriormente, cuando se determina que actualmente no hay margen de potencia activa para la turbina eólica, puede determinarse el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria de diversas maneras. Por ejemplo, puede usarse el valor de referencia como el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria. La presente divulgación no limita la manera en que se determina el valor de instrucción anterior, y también puede determinarse el valor de instrucción anterior de otras maneras.

En la etapa S30, cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es mayor que la frecuencia patrón de la red eléctrica, puede indicar que se reduce la carga del sistema de red eléctrica y puede ser necesario que la turbina eólica reduzca la potencia emitida en consecuencia, para equilibrar la cantidad de generación de energía con la carga del sistema de red eléctrica. Por tanto, puede que no sea necesario que participe un margen de potencia activa en la modulación de frecuencia primaria. En este caso, puede determinarse el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria en diversos segundos procesos de determinación diferentes del primer proceso de determinación. Por ejemplo, puede determinarse el valor de referencia basándose en la frecuencia actual, y puede usarse el valor de referencia como el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria. La presente divulgación no limita los segundos procesos de determinación, y también puede determinarse el valor de instrucción anterior de otras maneras.

Después de determinar el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria, puede controlarse que la turbina eólica realice la modulación de frecuencia primaria basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria. Es decir, puede controlarse que la turbina eólica realice la modulación de frecuencia primaria de modo que la potencia emitida por la turbina eólica sea una suma de la potencia emitida actual (es decir, la potencia emitida antes de entrar en la modulación de frecuencia primaria) y el valor de instrucción (denominado más adelante en el presente documento, primera potencia).

En algunas realizaciones, puede controlarse que la turbina eólica realice la modulación de frecuencia primaria de acuerdo con un método de modulación de frecuencia existente para hacer que la turbina eólica emita la primera potencia. Sin embargo, el método de modulación de frecuencia existente tiene el problema de que la velocidad de modulación de frecuencia es lenta o es necesario sacrificar el beneficio de generación de energía del parque eólico.

En una realización preferida, el método de modulación de frecuencia para la turbina eólica según una realización de la presente divulgación también puede mejorar las maneras específicas de modulación de frecuencia.

Por ejemplo, cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que la frecuencia patrón de la red eléctrica y actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica, o cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es mayor que la frecuencia patrón de la red eléctrica, puede realizarse la modulación de frecuencia primaria mediante un primer proceso de modulación de frecuencia, que puede incluir: realizar un control de par de torsión y un control de paso en la turbina eólica basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria.

En algunas realizaciones, puede realizarse el primer proceso de modulación de frecuencia basándose en una duración de tiempo predeterminada. La duración de tiempo predeterminada puede indicar lo que dura el primer proceso de modulación de frecuencia. Para el primer proceso de modulación de frecuencia, puede establecerse la duración de tiempo predeterminada basándose en la cantidad predicha de margen de potencia activa. El margen de potencia activa puede predecirse basándose en predicciones de los recursos eólicos.

En el presente documento, un control de par de torsión puede referirse a un valor de par de torsión especificado para ajustar la turbina eólica, y el control de paso puede referirse a un ángulo de paso para controlar la turbina eólica. En el primer proceso de modulación de frecuencia, la turbina eólica puede emitir la primera potencia controlando simultáneamente un par de torsión de rotor de la turbina eólica y controlando el ángulo de paso de la turbina eólica, de modo que no sólo pueda acelerarse la velocidad de respuesta al cambio de frecuencia por el control de par de torsión, sino que también pueda complementarse la liberación de energía cinética rotacional de un rotor o la absorción de la potencia de modulación de frecuencia mediante el control de paso, manteniéndose de ese modo un funcionamiento estable de la turbina eólica durante un tiempo prolongado.

En algunas realizaciones, puede calcularse un primer valor de par de torsión especificado basándose en la primera potencia y una velocidad de rotor de la turbina eólica, y luego el valor de par de torsión especificado de la turbina eólica puede ajustarse al primer valor de par de torsión especificado.

El primer valor de par de torsión especificado puede calcularse mediante la siguiente ecuación (2):

$$T_f = \frac{P_{\text{referencia}}}{\Omega} \quad (2)$$

donde T_f puede representar el primer valor de par de torsión especificado, $P_{\text{referencia}}$ puede representar la primera potencia y Ω puede representar una velocidad lineal de un rotor de la turbina eólica.

La presente divulgación no limita la manera en que se determina el primer valor de par de torsión especificado, y también puede determinarse el primer valor de par de torsión especificado descrito anteriormente de otras maneras.

Para reducir la carga de trabajo de diseño, pueden establecerse tanto un límite de salida máximo como un límite de salida mínimo de un controlador PI existente para controlar un par de torsión de la turbina eólica en el primer valor de par de torsión especificado, para ajustar el valor de par de torsión especificado de la turbina eólica al primer valor de par de torsión especificado.

Para reducir la carga de trabajo de diseño, puede establecerse un valor objetivo de un controlador PI existente para controlar un ángulo de paso de la turbina eólica en la primera potencia, para controlar el ángulo de paso de la turbina eólica.

En algunas realizaciones, cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que la frecuencia patrón de la red eléctrica y actualmente no hay margen de potencia activa para la turbina eólica, puede realizarse la modulación de frecuencia primaria mediante un segundo proceso de modulación de frecuencia diferente del primer proceso de modulación de frecuencia y el segundo proceso de modulación de frecuencia puede incluir: realizar un control de par de torsión en la turbina eólica durante una duración de tiempo predeterminada basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria.

Como ejemplo, cuando actualmente no hay margen de potencia activa para la turbina eólica, puede realizarse el segundo proceso de modulación de frecuencia basándose en una duración de tiempo predeterminada. La duración de tiempo predeterminada puede representar lo que dura el segundo proceso de modulación de frecuencia. Para el segundo proceso de modulación de frecuencia, el usuario puede establecer la duración de tiempo predeterminada.

Las figuras 2 a 3 son diagramas que muestran los efectos de simulación de realizar una modulación de frecuencia primaria usando un método de modulación de frecuencia primaria para una turbina eólica según una realización de la presente divulgación.

La figura 2 muestra una curva de cambio de potencia obtenida después de usar el método de modulación de frecuencia primaria existente y el método de modulación de frecuencia primaria de la presente divulgación cuando la frecuencia de la red eléctrica es menor que la frecuencia patrón de la red eléctrica. Tal como se muestra en la figura 2, cuando se usa el método de modulación de frecuencia primaria existente, la turbina eólica responde a una instrucción de modulación de frecuencia primaria de la red eléctrica tanto como sea posible, sin embargo, después de que se agota la inercia de reserva, se libera demasiada energía cinética del rotor de modo que la potencia de la turbina eólica disminuye rápidamente, en este momento se genera contaminación secundaria para la frecuencia de la red eléctrica. Cuando se usa el método de modulación de frecuencia primaria de la presente divulgación, aunque la velocidad de respuesta puede ser ligeramente más lenta que antes de la optimización, puede proporcionarse un determinado aumento de potencia de manera continua y estable. Desde la perspectiva de proporcionar energía total, siempre que la velocidad del viento permanezca relativamente estable, cuando se usa el método de modulación de frecuencia primaria de la presente divulgación, la turbina eólica puede proporcionar energía de manera continua y, lo que es más importante, el aumento de potencia estable puede evitar la contaminación secundaria a la frecuencia de la red eléctrica, al tiempo que se ralentiza el daño por fatiga provocado por la rápida disminución de la potencia existente en la turbina eólica.

La figura 3 muestra una curva de cambio de potencia obtenida después de usar el método de modulación de frecuencia

primaria existente y el método de modulación de frecuencia primaria de la presente divulgación cuando la frecuencia de la red eléctrica es mayor que la frecuencia patrón de la red eléctrica. Tal como se muestra en la figura 3, cuando se usa el método de modulación de frecuencia primaria existente, dado que sólo se adopta el control de ángulo de paso, la respuesta es lenta. Por el contrario, cuando se usa el método de modulación de frecuencia primaria de la presente divulgación, se adopta un método que combina el control de ángulo de paso y el control de par de torsión, garantizando la rapidez y estabilidad de la respuesta de la turbina eólica.

La figura 4 es un diagrama de bloques que muestra un dispositivo de modulación de frecuencia primaria para una turbina eólica según una realización de la presente divulgación. El dispositivo primario de modulación de frecuencia para la turbina eólica según una realización de la presente divulgación puede incluir una unidad 10 de detección, una primera unidad 20 de determinación, una segunda unidad 30 de determinación y una unidad 40 de modulación de frecuencia.

La unidad 10 de detección puede detectar una frecuencia actual de una red eléctrica. La detección puede ser en tiempo real o puede ser temporizada.

La primera unidad 20 de determinación puede determinar si es necesario que la turbina eólica entre en una modulación de frecuencia primaria.

La presente divulgación no limita la manera en que se determina si es necesario que la turbina eólica entre en la modulación de frecuencia primaria y puede determinarse si es necesario que la turbina eólica entre en la modulación de frecuencia primaria de diversas formas.

Como ejemplo, puede calcularse una desviación de frecuencia entre la frecuencia actual de la red eléctrica y una frecuencia patrón de la red eléctrica, y puede determinarse si la desviación de frecuencia supera una zona muerta de frecuencia. Al determinar si la desviación de frecuencia supera la zona muerta de frecuencia, puede determinarse si se requiere la modulación de frecuencia primaria. Cuando la desviación de frecuencia no supera la zona muerta de frecuencia, puede que no sea necesario realizar la modulación de frecuencia primaria, y la unidad 10 de detección puede continuar detectando la frecuencia actual de la red eléctrica. Cuando la desviación de frecuencia supera la zona muerta de frecuencia, puede ser necesario realizar la modulación de frecuencia primaria.

La frecuencia patrón de la red eléctrica puede referirse a una frecuencia patrón de suministro de energía CA de la red eléctrica. La frecuencia patrón de la red eléctrica para diferentes países o regiones puede ser diferente. Por ejemplo, la frecuencia patrón de la red eléctrica en China es de 50 HZ y la frecuencia patrón de la red eléctrica en EE.UU. es de 60 HZ. La zona muerta de frecuencia puede referirse a un intervalo de fluctuación admisible de la desviación de frecuencia entre una frecuencia de la red eléctrica y la frecuencia patrón de la red eléctrica.

La segunda unidad 30 de determinación puede determinar un valor de instrucción de una cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria. La unidad 40 de modulación de frecuencia puede controlar que la turbina eólica realice la modulación de frecuencia primaria basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria.

En algunas realizaciones, el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria puede referirse a una cantidad de cambio en un valor especificado de una potencia activa emitida por la turbina eólica en el momento de la modulación de frecuencia primaria en relación con una potencia emitida actual (es decir, una potencia emitida antes de entrar en la modulación de frecuencia primaria) de la turbina eólica.

En la técnica anterior, una cantidad de cambio en una potencia emitida por la turbina eólica requerida para equilibrar la desviación de frecuencia descrita anteriormente (es decir, un valor de referencia de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria, denominado más adelante en el presente documento valor de referencia) puede usarse generalmente como el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria. En la presente divulgación, cuando el valor de referencia es un número positivo, es decir, cuando es necesario aumentar la potencia emitida en el momento de la modulación de frecuencia primaria, puede determinarse el valor de instrucción basándose en un valor de margen de potencia activa y el valor de referencia.

Específicamente, cuando la frecuencia actual es menor que la frecuencia patrón de la red eléctrica, puede determinarse el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria mediante un primer proceso de determinación. Cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que la frecuencia patrón de la red eléctrica, puede indicar que aumenta la carga del sistema de red eléctrica, y puede ser necesario que la turbina eólica aumente la potencia emitida en consecuencia, para equilibrar la cantidad de generación de energía con la carga del sistema de red eléctrica.

El primer proceso de determinación puede incluir: determinar el valor de referencia basándose en la frecuencia actual; y cuando se determina que actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica, comparar un valor de margen de potencia activa actual de la turbina eólica y el valor de referencia, y determinar el valor de instrucción

de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria. Puede determinarse el valor de referencia descrito anteriormente basándose en la frecuencia actual, y el método de determinación se describirá con detalle más adelante.

- 5 Los expertos en la técnica entenderán que puede determinarse si hay un margen de potencia activa para la turbina eólica actualmente de diversas formas.

10 Como ejemplo, puede determinarse si hay un margen de potencia activa para la turbina eólica actualmente detectando un ángulo de paso actual de la turbina eólica. Por ejemplo, cuando el ángulo de paso actual de la turbina eólica es mayor que o igual a un valor mínimo de un ángulo de paso en el que se inicia el control de paso, se determina que actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica; y cuando el ángulo de paso actual de la turbina eólica es menor que un valor mínimo de un ángulo de paso en el que se inicia el control de paso, se determina que actualmente no hay margen de potencia activa para la turbina eólica. Dado que los ángulos de paso de las tres palas de la turbina eólica son sustancialmente iguales, puede usarse el ángulo de paso actual de cualquier pala como el
15 ángulo de paso actual de la turbina eólica, o puede usarse el promedio de los ángulos de paso actuales de las tres palas como el ángulo de paso actual de la turbina eólica.

20 Cuando se determina que actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica, puede determinarse un valor de margen de potencia activa actual, y el valor más pequeño del valor de referencia y el valor de margen de potencia activa actual puede determinarse como el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria.

25 Específicamente, cuando el valor de margen de potencia activa es menor que el valor de referencia, puede indicar que el valor de margen de potencia activa actual de la turbina eólica puede no cumplir con la cantidad de cambio en la potencia emitida por la turbina eólica requerida para equilibrar la desviación de frecuencia anterior (es decir, el valor de referencia), en primer lugar debe garantizarse que la turbina eólica funcione de manera estable y, en segundo lugar, puede proporcionarse la potencia de modulación de frecuencia en su máxima extensión. Por tanto, en este caso, el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria debe ser el valor de margen de potencia activa.

30 Cuando el valor de margen de potencia activa es mayor que o igual al valor de referencia, puede indicar que el valor de margen de potencia activa actual de la turbina eólica puede cumplir con la cantidad de cambio en la potencia emitida por la turbina eólica necesaria para equilibrar la frecuencia anterior. desviación (es decir, el valor de referencia), entonces la turbina eólica puede proporcionar la potencia de modulación de frecuencia basándose en el valor de
35 referencia. Por tanto, en tal caso, el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria debe ser el valor de referencia.

40 Los expertos en la técnica entenderán que puede determinarse el valor de margen de potencia activa actual de la turbina eólica de diversas formas.

45 Como ejemplo, puede determinarse el valor de margen de potencia activa actual basándose en un ángulo de paso actual, una función de transferencia de controlador proporcional integral (PI) y un valor mínimo de un ángulo de paso en el que se inicia el control de paso. La función de transferencia de controlador PI puede indicar una relación de correspondencia entre un valor de margen de potencia activa, un ángulo de paso actual y el valor mínimo.

Como ejemplo, la función de transferencia de controlador PI puede ser tal como se muestra en la ecuación (1) descrita anteriormente.

50 La presente divulgación no limita la manera en que se determina el valor de margen de potencia activa actual, y también puede determinarse el valor de margen de potencia activa actual de otras maneras.

El método para determinar el valor de referencia anterior basándose en la frecuencia actual se describirá con detalle a continuación.

55 Como ejemplo, puede obtenerse el valor de referencia basándose en una relación de mapeo entre los valores de referencia y las frecuencias actuales. La relación de mapeo puede obtenerse basándose en datos empíricos históricos o datos experimentales, o puede obtenerse basándose en directrices de red eléctrica correspondientes. La presente divulgación no limita la manera en que se determina el valor de referencia, y puede determinarse el valor de referencia anterior de otras maneras.

60 En el primer proceso de determinación descrito anteriormente, cuando se determina que actualmente no hay margen de potencia activa para la turbina eólica, puede determinarse el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria de diversas maneras. Por ejemplo, puede usarse el valor de referencia como el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria.
65 La presente divulgación no limita la manera en que se determina el valor de instrucción anterior, y también puede determinarse el valor de instrucción anterior de otras maneras.

Quando la frecuencia actual de la red eléctrica es mayor que la frecuencia patrón de la red eléctrica, puede indicar que se reduce la carga del sistema de red eléctrica, y puede ser necesario que la turbina eólica reduzca la potencia emitida en consecuencia, para equilibrar la cantidad de generación de potencia con la carga del sistema de red eléctrica. Por tanto, puede que no sea necesario que participe un margen de potencia activa en la modulación de frecuencia primaria. En este caso, puede determinarse el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria en diversos segundos procesos de determinación diferentes del primer proceso de determinación. Por ejemplo, puede determinarse el valor de referencia basándose en la frecuencia actual, y puede usarse el valor de referencia como el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria. La presente divulgación no limita los segundos procesos de determinación, y también puede determinarse el valor de instrucción anterior de otras maneras.

Después de determinar el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria, puede controlarse que la turbina eólica realice la modulación de frecuencia primaria basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria. Es decir, puede controlarse que la turbina eólica realice la modulación de frecuencia primaria de modo que la potencia emitida de la turbina eólica sea una suma de la potencia emitida actual (es decir, la potencia emitida antes de entrar en la modulación de frecuencia primaria) y el valor de instrucción (denominado más adelante en el presente documento, primera potencia).

En algunas realizaciones, puede controlarse que la turbina eólica realice la modulación de frecuencia primaria de acuerdo con un método de modulación de frecuencia existente para hacer que la turbina eólica emita la primera potencia. Sin embargo, el método de modulación de frecuencia existente tiene el problema de que la velocidad de modulación de frecuencia es lenta o es necesario sacrificar el beneficio de generación de energía del parque eólico.

En una realización preferida, el método de modulación de frecuencia para la turbina eólica según una realización de la presente divulgación también puede mejorar las maneras específicas de modulación de frecuencia.

Por ejemplo, cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que la frecuencia patrón de la red eléctrica y actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica, o cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es mayor que la frecuencia patrón de la red eléctrica, puede realizarse la modulación de frecuencia primaria mediante un primer proceso de modulación de frecuencia, que puede incluir: realizar un control de par de torsión y un control de paso en la turbina eólica basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria.

En una realización preferida, puede realizarse el primer proceso de modulación de frecuencia basándose en una duración de tiempo predeterminada. La duración de tiempo predeterminada puede indicar lo que dura el primer proceso de modulación de frecuencia. Para el primer proceso de modulación de frecuencia, puede establecerse la duración de tiempo predeterminada basándose en la cantidad predicha de margen de potencia activa.

En el presente documento, un control de par de torsión puede referirse a un valor de par de torsión especificado para ajustar la turbina eólica, y el control de paso puede referirse a un ángulo de paso para controlar la turbina eólica. Es decir, en el primer proceso de modulación de frecuencia, la turbina eólica puede emitir la primera potencia controlando simultáneamente un par de torsión de rotor de la turbina eólica y controlando el ángulo de paso de la turbina eólica, de modo que no sólo pueda acelerarse la velocidad de respuesta al cambio de frecuencia mediante el control de par de torsión, sino que también pueda complementarse la liberación de energía cinética rotacional de un rotor o la absorción de la potencia de modulación de frecuencia mediante el control de paso, manteniéndose de ese modo el funcionamiento estable de la turbina eólica durante un tiempo prolongado.

En algunas realizaciones, puede calcularse un primer valor de par de torsión especificado basándose en la primera potencia y una velocidad de rotor de la turbina eólica, y luego puede ajustarse el valor de par de torsión especificado de la turbina eólica al primer valor de par de torsión especificado.

El primer valor de par de torsión especificado puede calcularse mediante la ecuación (2) anterior.

La presente divulgación no limita la manera en que se determina el primer valor de par de torsión especificado, y también puede determinarse el primer valor de par de torsión especificado descrito anteriormente de otras maneras.

Para reducir la carga de trabajo de diseño, pueden establecerse tanto un límite de salida máximo como un límite de salida mínimo de un controlador PI existente para controlar un par de torsión de la turbina eólica en el primer valor de par de torsión especificado, para ajustar el valor de par de torsión especificado de la turbina eólica al primer valor de par de torsión especificado.

Para reducir la carga de trabajo de diseño, puede establecerse un valor objetivo de un controlador PI existente para controlar un ángulo de paso de la turbina eólica en la primera potencia, para controlar el ángulo de paso de la turbina eólica.

- 5 Como otro ejemplo, cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que la frecuencia patrón de la red eléctrica y actualmente no hay margen de potencia activa para la turbina eólica, puede realizarse la modulación de frecuencia primaria mediante un segundo proceso de modulación de frecuencia diferente del primer proceso de modulación de frecuencia y el segundo proceso de modulación de frecuencia puede incluir: realizar un control de par de torsión en la turbina eólica durante una duración de tiempo predeterminada basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria. El control de par de torsión en este caso es similar al control de par de torsión descrito anteriormente y no se repetirá en este caso.
- 10 En algunas realizaciones, cuando actualmente no hay margen de potencia activa para la turbina eólica, puede realizarse el segundo proceso de modulación de frecuencia basándose en una duración de tiempo predeterminada. La duración de tiempo predeterminada puede representar lo que dura el segundo proceso de modulación de frecuencia. Para el segundo proceso de modulación de frecuencia, un usuario puede establecer la duración de tiempo predeterminada.
- 15 Basándose en el método de modulación de frecuencia primaria para la turbina eólica según una realización de la presente divulgación, cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que la frecuencia patrón de la red eléctrica, puede determinarse el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria teniendo en cuenta el valor del margen de potencia activa de la turbina eólica y la frecuencia actual.
- 20 Con la premisa de garantizar el funcionamiento estable de la turbina eólica, se hace que el margen de potencia activa participe en el proceso de modulación de frecuencia primaria del sistema en su máxima extensión, mejorando de ese modo la capacidad de modulación de frecuencia y la estabilidad de sistema de la turbina eólica, al tiempo que se aumenta el beneficio auxiliar de la red del parque eólico.
- 25 Además, basándose en el método de modulación de frecuencia primaria para la turbina eólica según una realización de la presente divulgación, puede realizarse la modulación de frecuencia primaria combinándola con el control de par de torsión y el control de paso, es decir, puede usarse un control de par de torsión para acelerar la respuesta de la turbina eólica al cambio de frecuencia de la red eléctrica y, al mismo tiempo, puede complementarse la capacidad de absorber o liberar la energía cinética rotacional en el control de par de torsión con el control de paso, evitando cambios
- 30 rápidos en la velocidad de la turbina eólica, garantizando de ese modo un funcionamiento estable de la turbina eólica durante la modulación de frecuencia primaria.

REIVINDICACIONES

1. Método de modulación de frecuencia primaria para una turbina eólica, mediante el cual el método de modulación de frecuencia primaria comprende:

detectar (S10) una frecuencia actual de una red eléctrica;

determinar (S30) un valor de instrucción de una cantidad de cambio de potencia para una modulación de frecuencia primaria mediante un primer proceso de determinación cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que una frecuencia patrón de la red eléctrica, en el que el primer proceso de determinación comprende: determinar un valor de referencia de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria basándose en la frecuencia actual; y cuando se determina que actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica, comparar el valor de referencia con un valor de margen de potencia activa actual de la turbina eólica y determinar (S30) el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria, en el que el valor de margen de potencia activa actual se determina basándose en una función de transferencia de controlador proporcional integral que indica una relación entre un valor de margen de potencia activa, un ángulo de paso actual y un valor mínimo de un ángulo de paso en el que se inicia el control de paso; y

realizar (S40) la modulación de frecuencia primaria realizando un control de par de torsión y/o un control de paso en la turbina eólica basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia.

2. Método de modulación de frecuencia primaria según la reivindicación 1, en el que comparar el valor de referencia con un valor de margen de potencia activa actual de la turbina eólica y determinar (S30) el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria comprende: determinar el valor más pequeño del valor de referencia y el valor de margen de potencia activa actual como el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria.

3. Método de modulación de frecuencia primaria según la reivindicación 1, en el que la función de transferencia de controlador proporcional integral se expresa como:

$$\Delta P_{pre} = K_p(\beta - \beta_{min}) + K_i \int_0^t (\beta - \beta_{min}) dt$$

donde ΔP_{pre} es el valor del margen de potencia activa, K_p es un coeficiente proporcional, K_i es un coeficiente integral, β es el ángulo de paso actual y β_{min} es el valor mínimo de un ángulo de paso en el que se inicia el control de paso.

4. Método de modulación de frecuencia primaria según la reivindicación 3, en el que el primer proceso de determinación comprende además: cuando se determina que actualmente no hay margen de potencia activa para la turbina eólica, determinar el valor de referencia como el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria.

5. Método de modulación de frecuencia primaria según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que determinar el valor de referencia basándose en la frecuencia actual comprende: obtener el valor de referencia basándose en una relación de mapeo entre valores de referencia y frecuencias actuales.

6. Método de modulación de frecuencia primaria según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que cuando el ángulo de paso actual de la turbina eólica es mayor que o igual al valor mínimo de un ángulo de paso en el que se inicia el control de paso, se determina que actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica.

7. Método de modulación de frecuencia primaria según la reivindicación 3, en el que realizar (S40) la modulación de frecuencia primaria basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia comprende:

realizar (S40) la modulación de frecuencia primaria mediante un primer proceso de modulación de frecuencia, cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que la frecuencia patrón y actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica, o cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es mayor que la frecuencia patrón, en el que el primer proceso de modulación de frecuencia comprende: realizar un control de par de torsión y un control de paso en la turbina eólica basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria;

realizar (S40) la modulación de frecuencia primaria mediante un segundo proceso de modulación de frecuencia, cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que la frecuencia patrón y actualmente no hay margen de potencia activa para la turbina eólica, en el que el segundo proceso de modulación de

frecuencia comprende: realizar un control de par de torsión en la turbina eólica basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria,

en el que el primer proceso de modulación de frecuencia o el segundo proceso de modulación de frecuencia se realiza basándose en una duración de tiempo predeterminada.

8. Dispositivo de modulación de frecuencia primaria para una turbina eólica, mediante el cual el dispositivo de modulación de frecuencia primaria comprende:

una unidad (10) de detección configurada para detectar una frecuencia actual de una red eléctrica;

una unidad (30) de determinación configurada para determinar un valor de instrucción de una cantidad de cambio de potencia para una modulación de frecuencia primaria mediante un primer proceso de determinación cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que una frecuencia patrón de la red eléctrica, en el que la unidad (30) de determinación está configurada además para: determinar un valor de referencia de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria basándose en la frecuencia actual; y cuando se determina que actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica, comparar el valor de referencia con un valor de margen de potencia activa actual de la turbina eólica y determinar el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria, en el que el valor actual de margen de potencia activa se determina basándose en una función de transferencia de controlador proporcional integral que indica una relación entre un valor de margen de potencia activa, un ángulo de paso actual y un valor mínimo de un ángulo de paso en el que se inicia el control de paso; y

una unidad (40) de modulación de frecuencia configurada para realizar la modulación de frecuencia primaria realizando un control de par de torsión y/o un control de paso en la turbina eólica basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia.

9. Dispositivo de modulación de frecuencia primaria según la reivindicación 8, en el que la unidad (30) de determinación está configurada además para: determinar el valor más pequeño del valor de referencia y el valor de margen de potencia activa actual como el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria.

10. Dispositivo de modulación de frecuencia primaria según la reivindicación 8, en el que la función de transferencia de controlador proporcional integral se expresa como:

$$\Delta P_{pre} = K_P(\beta - \beta_{min}) + K_I \int_0^t (\beta - \beta_{min}) dt$$

donde ΔP_{pre} es el valor del margen de potencia activa, K_P es un coeficiente proporcional, K_I es un coeficiente integral, β es el ángulo de paso actual y β_{min} es el valor mínimo de un ángulo de paso en el que se inicia el control de paso.

11. Dispositivo de modulación de frecuencia primaria según la reivindicación 10, en el que la unidad (30) de determinación está configurada además para: cuando se determina que actualmente no hay margen de potencia activa para la turbina eólica, determinar el valor de referencia como el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria,

en el que la unidad (30) de determinación está configurada además para obtener el valor de referencia basándose en una relación de mapeo entre los valores de referencia y las frecuencias actuales.

12. Dispositivo de modulación de frecuencia primaria según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en el que la unidad (30) de determinación está configurada además para determinar que actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica, cuando el ángulo de paso actual de la turbina eólica es mayor que o igual al valor mínimo de un ángulo de paso en el que se inicia el control de paso.

13. Dispositivo de modulación de frecuencia primaria según la reivindicación 10, en el que la unidad (40) de modulación de frecuencia está configurada además para:

realizar la modulación de frecuencia primaria mediante un primer proceso de modulación de frecuencia, cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que la frecuencia patrón y actualmente hay un margen de potencia activa para la turbina eólica, o cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es mayor que la frecuencia patrón, en el que la unidad (40) de modulación de frecuencia está configurada además para: realizar un control de par de torsión y un control de paso en la turbina eólica basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria;

5 realizar la modulación de frecuencia primaria mediante un segundo proceso de modulación de frecuencia, cuando la frecuencia actual de la red eléctrica es menor que la frecuencia patrón y actualmente no hay margen de potencia activa para la turbina eólica, en el que la unidad (40) de modulación de frecuencia está configurada además para: realizar un control de par de torsión en la turbina eólica basándose en el valor de instrucción de la cantidad de cambio de potencia para la modulación de frecuencia primaria,

10 en el que la unidad (40) de modulación de frecuencia está configurada además para realizar el primer proceso de modulación de frecuencia o el segundo proceso de modulación de frecuencia basándose en una duración de tiempo predeterminada.

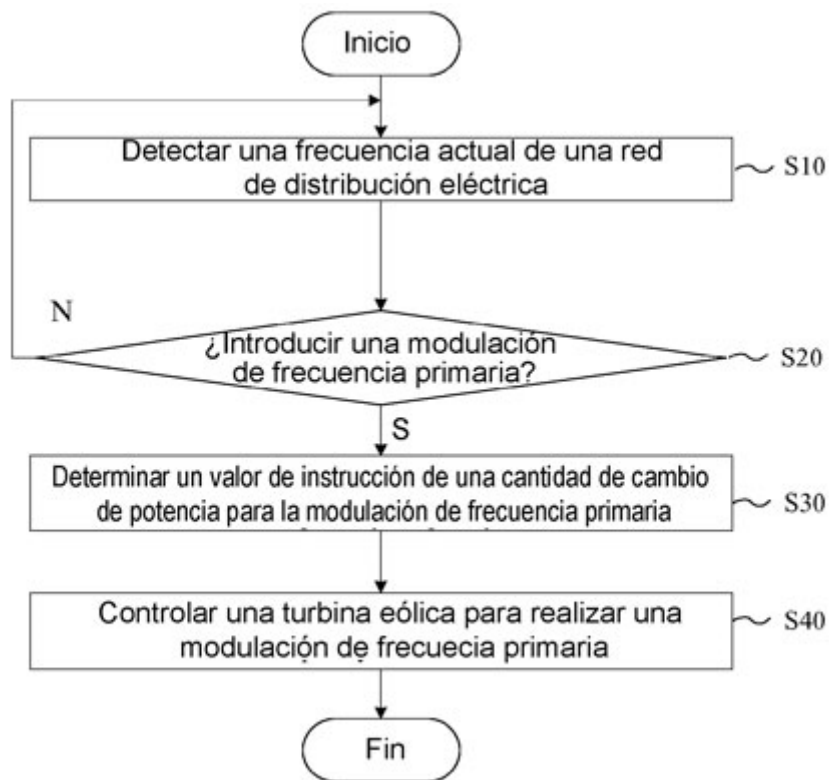


Fig. 1

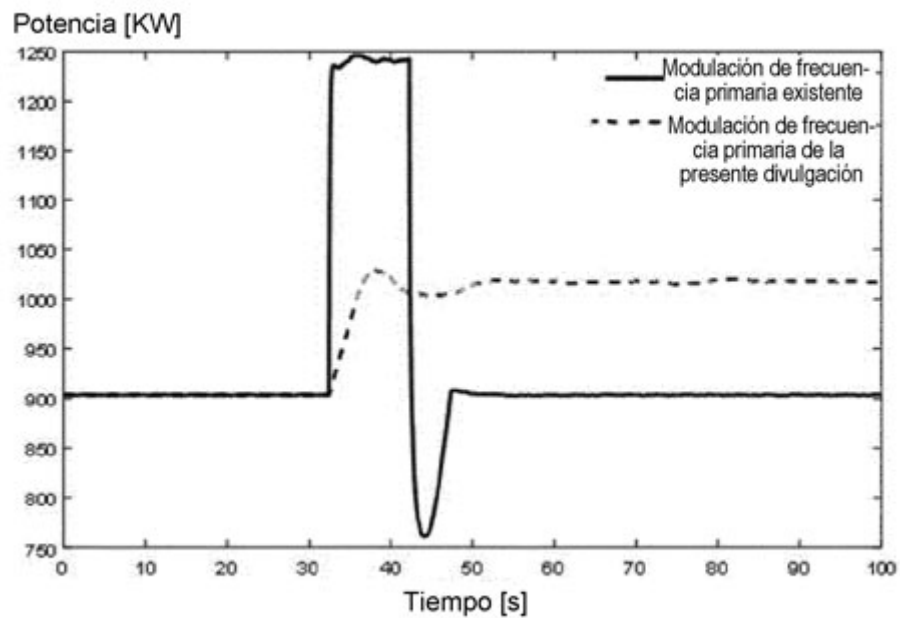


Fig. 2

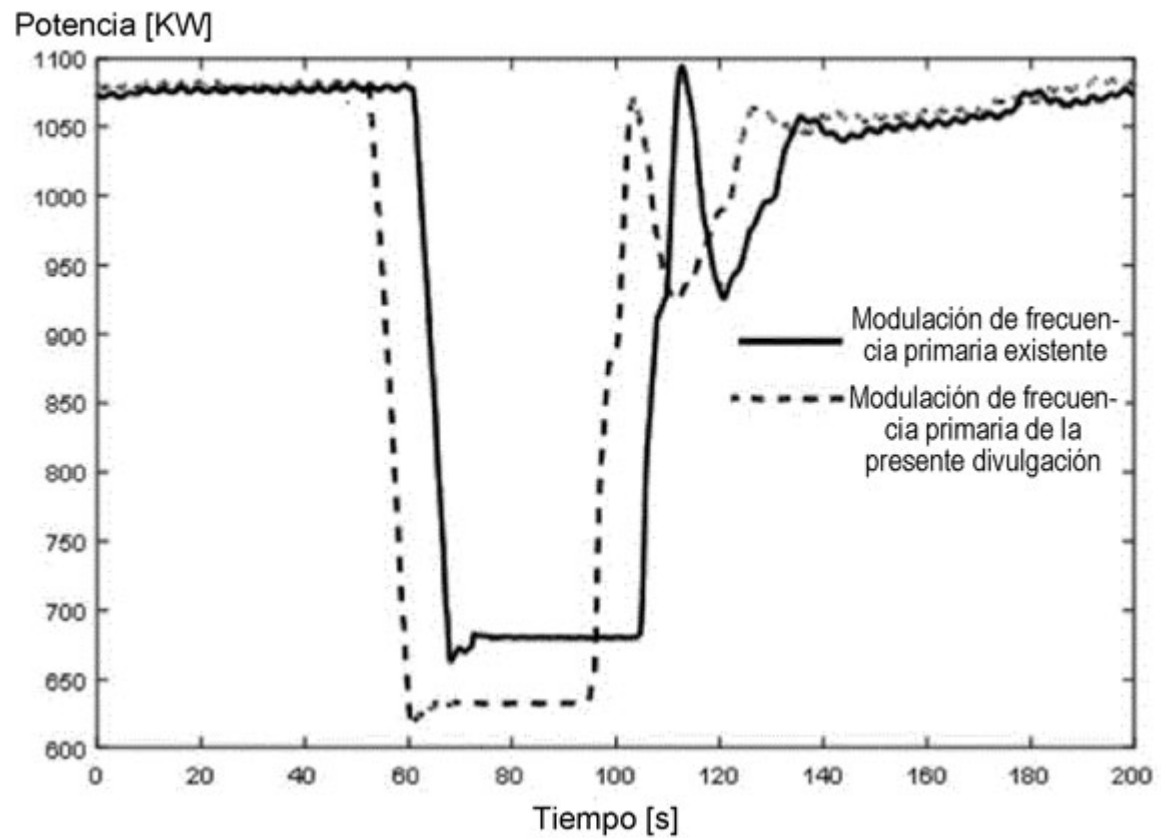


Fig. 3

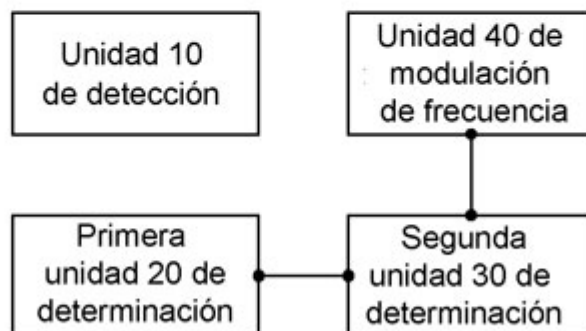


Fig. 4