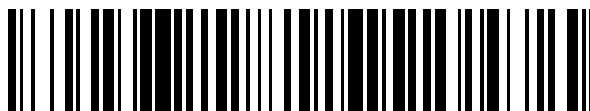


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 704 240**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.05.2013 PCT/DK2013/050137**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.11.2013 WO13167140**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.05.2013 E 13722982 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.11.2018 EP 2847844**

54 Título: **Método para coordinar características de control de frecuencia entre centrales convencionales y centrales de energía eólica**

30 Prioridad:

11.05.2012 DK 201270247

25.06.2012 US 201261663998 P

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

15.03.2019

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

TARNOWSKI, GERMÁN CLAUDIO

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 704 240 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 para coordinar características de control de frecuencia entre centrales convencionales y centrales de energía eólica

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a un método de hacer funcionar una central eléctrica, con al menos un generador de turbina eólica conectado a una red eléctrica y al menos otra fuente de energía, y controlar la frecuencia eléctrica de la red eléctrica. La invención también se refiere a una central eléctrica que funciona según el método.

Antecedentes de la invención

- 10 En una red de suministro eléctrico, los consumidores pueden consumir habitualmente energía eléctrica de una manera no controlada. Dado que apenas se almacena energía en la red, no puede existir ningún desequilibrio entre la energía producida y la energía consumida. Por tanto, la producción instantánea de energía debe coincidir con el consumo instantáneo de energía. El exceso de producción conduce a un aumento de la frecuencia de red más allá del valor nominal (por ejemplo 50 ó 60 Hz), dado que los generadores síncronos convencionales aceleran, mientras que el consumo excesivo conducirá a una disminución de la frecuencia de red más allá del valor nominal (por ejemplo 50 ó 60 Hz), dado que los generadores síncronos convencionales decelerarán en ese caso.

Con el fin de estabilizar la frecuencia de la red eléctrica, convencionalmente alrededor de un 10% de los productores contribuyen a lo que se llama "control de energía primario". Estos productores, también denominados "controladores primarios", aumentan la salida de energía cuando la frecuencia disminuye por debajo del valor nominal y disminuyen la salida de energía cuando aumenta por encima del valor nominal.

- 20 Convencionalmente, los generadores de turbina eólica no contribuyen al control primario, en primer lugar porque los generadores de turbina eólica no pueden aumentar normalmente su energía de salida mediante una orden (ya que funcionan normalmente a carga nominal o, cuando funcionan a carga parcial, a un punto de trabajo óptimo), y en segundo lugar porque la energía eólica disponible normalmente deberá aprovecharse en su totalidad.

- 25 Generalmente, la energía eólica aporta un instante adicional de inestabilidad de red porque, con una fracción significativa de energía eólica en una red, no sólo no se controla el consumo, sino también la producción de los generadores de turbina eólica. Aunque las previsiones de viento permiten predecir la producción de energía eólica con una precisión considerable a largo plazo (al nivel de horas), la velocidad del viento normalmente fluctúa de una manera no predecible a corto plazo (al nivel de minutos hasta unos pocos segundos). Un generador de turbina eólica que funciona a carga parcial (es decir, cuando la velocidad del viento está por debajo de la velocidad del viento nominal del generador de turbina eólica considerado) transformará normalmente estas fluctuaciones de velocidad del viento en fluctuaciones correspondientes de la cantidad de energía real producida y suministrada a la red eléctrica. Sólo a velocidades del viento por encima de la nominal, cuando un generador de turbina eólica funciona a carga nominal, los generadores de turbina eólica controlan normalmente su energía de salida para que sea constante a la energía de salida nominal.

- 35 La consecuencia de la producción de energía fluctuante mediante generadores de turbina eólica sobre la estabilidad de red depende de las características de la red. En una red grande y estable una fluctuación de energía por un generador de turbina eólica o central de energía eólica no producirá ninguna respuesta significativa en forma de una fluctuación de frecuencia. Por tanto, tales redes pueden hacer frente a variaciones de energía superiores.

- 40 El funcionamiento de cantidades relativamente grandes de energía eólica junto con centrales eléctricas convencionales necesita coordinarse en cuanto a regular características y reservas de energía, con vistas al equilibrio de energía y estabilidad de frecuencia de la red. La necesidad de coordinación se hace más evidente cuando la producción de energía eólica participa con servicios de regulación para el sistema.

El documento EP 2 393 179 A2 da a conocer un método para hacer funcionar un sistema energía eléctrica que comprende generadores de turbina eólica.

- 45 **Sumario de la invención**

Se proporciona este sumario para presentar una selección de conceptos de una manera simplificada que se describen a continuación adicionalmente en la descripción detallada. No se pretende que este sumario identifique características clave o características esenciales del objeto reivindicado, y tampoco se pretende que se use como ayuda para determinar el alcance del objeto reivindicado.

- 50 En un aspecto, la presente invención se refiere a un método para hacer funcionar un sistema energía eléctrica, que comprende al menos un generador de turbina eólica y al menos otra fuente de energía, siendo la otra fuente de energía una fuente de energía no eólica, el método comprende las etapas de:

configurar un conjunto de requisitos y límites técnicos para el sistema de energía eléctrica, incluyendo una reserva de energía total y al menos uno de: desviación de frecuencia eléctrica máxima y fluctuaciones de frecuencia eléctrica

de energía eólica permitidas;

distribuir la reserva de energía total entre la al menos otra fuente de energía y una capacidad de energía eólica total disponible desde el al menos un generador de turbina eólica, y calcular en respuesta a lo mismo una cantidad de reserva de energía desde el al menos un generador de turbina eólica;

- 5 proporcionar configuraciones para un controlador de energía eólica, comprendiendo las configuraciones el conjunto de requisitos técnicos y la cantidad de reserva de energía desde el al menos un generador de turbina eólica,

la etapa de determinar las reservas de energía totales se basa en:

la desviación de frecuencia eléctrica máxima y una reserva de energía activada de frecuencia de sistema, y

las fluctuaciones de frecuencia eléctrica de energía eólica máximas permitidas y

- 10 una banda muerta de un regulador de velocidad de la al menos una central convencional.

Según una realización de la invención, la reserva de energía total es una suma de una reserva de energía de la al menos otra fuente de energía y la cantidad de reserva de energía del al menos un generador de turbina eólica.

Según una realización de la invención, la reducción de energía eólica es mayor o igual que la cantidad de reserva de energía del al menos un generador de turbina eólica.

- 15 Una ventaja de la realización es que hay más energía eólica reducida disponible que la requerida para reserva de energía.

Según una realización de la invención, se determina un conjunto de parámetros para un controlador de frecuencia de energía eólica, que incluye al menos uno o más de:

- 20 una banda muerta de frecuencia, una característica de respuesta de frecuencia, fluctuación de energía eólica, una reducción de energía eólica y tasa de rampa de seguimiento de energía.

Según una realización de la invención, la característica de respuesta de frecuencia se calcula como:

$$R_{\text{Viento}} = \frac{\Delta f_{\text{Max}} - DB_{\text{Viento}}}{f_0} \cdot \frac{\sum_n P_{N-WPPi}}{\Delta P_{\text{ResViento}}}$$

Una ventaja del primer aspecto es que la característica de respuesta de frecuencia está bien definida.

Según una realización de la invención, la fluctuación de energía eólica se calcula como:

$$\Delta P_{\text{FluctViento}} = \frac{\Delta f_{\text{FluctViento}} - DB_{\text{Conv}}}{\Delta f_{\text{Max}} - DB_{\text{Conv}}} \Delta P_{\text{ResConv}}$$

25

Una ventaja del primer aspecto es que la fluctuación de energía eólica está bien definida.

En un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un sistema energía eléctrica, que comprende al menos un generador de turbina eólica y al menos otra fuente de energía, y un controlador que está dispuesto para funcionar según el método.

- 30 Las ventajas del segundo aspecto y sus realizaciones son equivalentes a las ventajas del primer aspecto de la presente invención.

Cada uno de los aspectos individuales de la presente invención puede combinarse con cualquiera de los otros aspectos. Estos y otros aspectos de la invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción con referencia a las realizaciones descritas.

- 35 Cualquiera de las características adjuntas se apreciará más fácilmente a medida que las mismas se entienden mejor por referencia a la siguiente descripción detallada considerada en conexión con los dibujos adjuntos. Las características preferidas pueden combinarse según sea apropiado, tal como resultará evidente para un experto en la técnica, y pueden combinarse con cualquiera de los aspectos de la invención.

Breve descripción de las figuras

El sistema de energía y su método según la invención se describirán ahora en más detalle con respecto a las figuras adjuntas. Las figuras muestran una forma de implementar la presente invención y no deben interpretarse como limitativas de otras posibles realizaciones que se encuentran dentro del alcance del juego de reivindicaciones adjunto.

5 La figura 1 muestra un generador de turbina eólica según la presente invención.

La figura 2 muestra una característica de respuesta de frecuencia.

La figura 3 son características de respuesta de frecuencia de sistema a partir de generación convencional (izquierda) y generación de energía eólica (derecha).

10 La figura 4 muestra un ejemplo de arquitecturas de control para la producción de energía eólica en un sistema de energía.

La figura 5 muestra ejemplos de los valores numéricos de los requisitos de frecuencia eléctrica.

La figura 6 es un diagrama de flujo esquemático de una realización del método.

Descripción detallada de una realización

15 La presente invención se explicará ahora en más detalle. Aunque la invención es susceptible de diversas modificaciones y formas alternativas, se dan a conocer realizaciones específicas a modo de ejemplos. Sin embargo, debe entenderse que no se pretende limitar la invención a las formas particulares dadas a conocer. Más bien, la invención debe abarcar todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que se encuentren dentro del alcance de la invención tal como se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

20 Los elementos individuales de una realización de la invención pueden implementarse de manera física, funcional y lógica de cualquier forma adecuada tal como en una única unidad, en una pluralidad de unidades o como parte de unidades funcionales independientes. La invención puede implementarse en una única unidad, o estar distribuida tanto de manera física como funcional entre diferentes unidades y procesadores.

25 Las realizaciones de la presente invención se refieren a un sistema de energía con una pluralidad de generadores de turbina eólica (por ejemplo un generador de turbina eólica de velocidad variable) y el funcionamiento de cantidades relativamente grandes de energía eólica junto con centrales eléctricas convencionales necesita coordinarse en cuanto a regulación de características y reservas de energía, con vistas al equilibrio de energía y estabilidad de frecuencia de la red. La necesidad de coordinación es más evidente cuando la producción de energía eólica participa con servicios de regulación para el sistema.

30 La coordinación entre producción eólica y convencional implica configurar los parámetros de los controles de energía eólica para: i) regulación de funcionamiento normal, ii) regulación de perturbación (contingencia) y iii) respuesta inercial.

35 Los generadores de turbina eólica (por ejemplo un generador de turbina eólica de velocidad variable) que suministran energía a una red eléctrica que puede estar equipada con otra capacidad de regulación contra fluctuaciones de energía activa y frecuencia de red. "Red eléctrica" o "red" es una red eléctrica fuera de los límites y punto de acoplamiento común de una central de energía eólica; cuando se hace referencia a la red dentro de una central de energía eólica se expresa con indicación explícita a la central de energía eólica, por ejemplo, "red de parque eólico". La capacidad de regulación contra fluctuaciones de frecuencia de red se proporciona, por ejemplo, mediante una cierta fracción (normalmente alrededor de un 10%) de controladores primarios, que son normalmente productores convencionales, que pueden usar turbinas impulsadas por vapor o gas y fuentes de energía fósil, o energía hidroeléctrica. Los controladores primarios aumentan la salida de energía cuando la frecuencia disminuye por debajo del valor nominal (por ejemplo 50 ó 60 Hz) y disminuyen la salida de energía cuando aumenta por encima del valor nominal.

45 Dado que el presente texto trata de la energía activa en vez de la energía reactiva, la energía activa se denominará resumidamente "energía" o "energía de salida". Cuando se hace referencia a la energía reactiva, se denomina explícitamente "energía reactiva".

50 Hay un límite superior para la energía de salida que puede producirse mediante el generador de turbina eólica según las realizaciones, por ejemplo debido a límites estructurales y un límite de corriente en el convertidor eléctrico del generador de turbina eólica. Esta cantidad de energía se denomina "energía nominal". La velocidad del viento suficiente para que el generador de turbina eólica produzca la energía nominal se denomina "velocidad del viento nominal". Cuando el generador de turbina eólica según las realizaciones funciona a velocidades del viento por encima de la velocidad del viento nominal, sólo se transforma en energía de salida eléctrica la fracción de la energía eólica disponible que corresponde a la energía nominal. Esta reducción de producción de energía se logra, por ejemplo, cambiando de manera gradual el ángulo de paso del rotor hacia la denominada posición de bandera. En otras palabras, de manera intencionada el generador de turbina eólica no se hace funcionar a una eficiencia óptima.

En algunas realizaciones, el generador de turbina eólica también se hace funcionar a una razón de velocidad de punta inferior a la óptima con el fin de reducir cargas estructurales.

Por el contrario, durante el funcionamiento a carga parcial, es decir a velocidad del viento por debajo de la velocidad del viento nominal, el generador de turbina eólica según las realizaciones se hace funcionar a eficiencia óptima. Por ejemplo, se hace funcionar con la razón de velocidad de punta y el ángulo de paso de pala aerodinámicamente óptimos. Generalmente, la velocidad del viento fluctúa de una manera impredecible a corto plazo (al nivel de minutos hasta unos pocos segundos). Cuando funciona a carga parcial y con eficiencia óptima, el generador de turbina eólica según las realizaciones transforma estas fluctuaciones de velocidad del viento de una manera prácticamente uno a uno en fluctuaciones provocadas por el viento correspondientes de la cantidad de energía real producida y suministrada a la red eléctrica. Las fluctuaciones en la dirección del viento también pueden contribuir a las fluctuaciones provocadas por el viento de la cantidad de energía real producida resultante y suministrada a la red eléctrica ya que un mecanismo de ajuste de guiñada de la turbina eólica generalmente no puede alinear de manera inmediata el eje de rotor del generador de turbina eólica con la dirección del viento. Un rotor mal alineado tiene una eficiencia reducida de tal forma que las fluctuaciones en la dirección del viento son una fuente adicional de fluctuaciones provocadas por el viento de la cantidad de energía real producida y suministrada a la red eléctrica.

Tal como se mencionó al comienzo, la consecuencia de la producción de energía fluctuante mediante generadores de turbina eólica sobre la estabilidad de red depende de características de la red. En una red grande y estable, una fluctuación de energía mediante un generador de turbina eólica o central de energía eólica no producirá ninguna respuesta significativa en forma de una fluctuación de frecuencia. Sin embargo, en una red pequeña y aislada, o en redes débiles, tal fluctuación de energía puede producir una fluctuación de frecuencia significativa. Una cierta capacidad de la red de compensar desequilibrios de producción de energía y compensación y regular variaciones de frecuencia resultantes, es decir un cierto grado de rigidez o debilidad de la red, se denomina "estabilidad de red".

El inventor ha reconocido que la estabilidad de red puede variar a lo largo del tiempo, por ejemplo debido a fallos relacionados con la red, tales como aislamiento de la parte de la red en la que está ubicado el generador de turbina eólica, debido a fallos de productor primario, etc. El inventor también ha reconocido que puede detectarse un deterioro de la estabilidad de red al monitorizar, por ejemplo, fluctuaciones de frecuencia en la red. Además, el inventor ha reconocido que es deseable, en el caso de un deterioro de las condiciones de estabilidad de la red, limitar las fluctuaciones de energía de salida producidas por el generador de turbina eólica y suministradas a la red o si el generador de turbina eólica ya ha funcionado con fluctuaciones de energía de salida limitadas antes de producirse el deterioro, para reducir el límite de fluctuaciones ya existente. "Reducir" el límite de fluctuaciones significa hacer el límite más riguroso. Con esta medida, aunque el generador de turbina eólica según las realizaciones no funciona como un controlador primario, contribuye a la estabilidad de red reduciendo las fluctuaciones inducidas por la fuente. Sin embargo, limitando las fluctuaciones de energía de salida, la salida de energía acumulada se reducirá generalmente y por tanto se reducirá la eficiencia efectiva del generador de turbina eólica. Sin embargo, al restringir esta medida a situaciones en las que la estabilidad de red está (temporalmente) deteriorada, se limitará la pérdida de energía eléctrica producida.

En las realizaciones, limitar las fluctuaciones de energía activa se logra, por ejemplo, por medio de ajuste de paso de pala. En algunas realizaciones, las fluctuaciones de energía activa también se limitan de manera eléctrica, por el control correspondiente del convertidor de energía eléctrica de generador de turbina eólica. Sin embargo, esto último da como resultado un desequilibrio entre la cantidad de energía eólica convertida en energía mecánica del rotor del generador de turbina eólica y la energía de salida eléctrica que, por ejemplo, da como resultado la aceleración del rotor.

Por tanto, en algunas realizaciones, la limitación eléctrica de la energía sólo se realiza en combinación con ajuste de paso de pala para hacer frente a transitorios de velocidad del viento. Por ejemplo, cuando la velocidad del viento aumenta más rápido de lo que puede ajustarse el paso para compensar el aumento de velocidad del viento, en primer lugar se limita la energía de salida eléctricamente y, una vez que se ha ajustado el paso de las palas a su nuevo ángulo de paso, entonces se limita mediante el ajuste de paso.

La función de monitorización y ajuste de límite es una función de autodiagnóstico y autoajuste realizada por un sistema de control al nivel de generadores de turbina eólica individuales, o al nivel de una central de energía eólica, o a un nivel superior en la red de suministro. El sistema de control también puede estar distribuido, por ejemplo, incluir controladores al nivel de parque eólico y de turbina eólica.

En algunas realizaciones, el intervalo de frecuencia abarcado por fluctuaciones de frecuencia de red se determina de manera permanente, y se considera que una variación de la frecuencia de red fuera de un intervalo de frecuencia permitido $F_{\max}/F_{\min}$ (entre una frecuencia máxima permitida $F_{\max}$ y una frecuencia mínima permitida $F_{\min}$) es una detección de una condición de estabilidad de red reducida, es decir una banda muerta de frecuencia. Alternativa o adicionalmente, la variación de la frecuencia de red se determina de manera permanente, y se considera que un aumento más allá de un umbral de variación es una detección de una condición de estabilidad de red reducida. Entonces, se reduce la fluctuación permitida de la salida de energía del generador de turbina eólica o de la central de energía eólica.

En algunas realizaciones, monitorizar si las fluctuaciones de frecuencia de red están dentro del intervalo de frecuencia permitido, o si su variación está por debajo del umbral de variación, se realiza de manera absoluta, es decir sin tener en cuenta ninguna correlación de la frecuencia de red y la energía de salida producida por el generador de turbina eólica o central de energía eólica.

- 5 Sin embargo, la monitorización sin correlación de las fluctuaciones de frecuencia de red es algo inespecífica en el sentido de que no se garantiza que la fluctuación de la turbina eólica o central de energía eólica consideradas contribuyan realmente a las fluctuaciones de frecuencia de red observadas. Por tanto, en estas realizaciones, la reducción del límite de fluctuaciones puede ser en vano, y sólo produciría costes (por la reducción de la salida de energía acumulada provocada de este modo). Por tanto, en otras realizaciones, la monitorización de estabilidad de red comprende determinar una correlación entre energía suministrada a la red eléctrica y frecuencia de red. Correlación significa que si la salida de energía aumenta, la frecuencia de red también aumenta. La frecuencia de red se mide, por ejemplo, en los terminales del generador de turbina eólica o en un punto de acoplamiento de la central de energía eólica a la red. Sin embargo, si no se observa ningún aumento de la frecuencia de red ante un aumento de la energía de salida, no hay correlación. En realidad, la “correlación” puede ser un parámetro continuo que mide el grado de coincidencia entre el aumento de energía de salida y el aumento de frecuencia de red.

En algunas de las realizaciones, cuanto mayor es la correlación así determinada, menor es la estabilidad de red detectada. Para considerarlo como un indicador de estabilidad de red reducida, un aumento de la correlación tiene que ser significativo en algunas realizaciones, por ejemplo el aumento tiene que superar un umbral de correlación máximo aceptable. Entonces, se reduce la fluctuación permitida de la energía de salida del generador de turbina eólica. Vincular la reducción del límite de fluctuaciones a la correlación observada entre fluctuaciones de energía de salida y fluctuaciones de frecuencia de red garantiza que la reducción del límite de fluctuación de energía de salida contribuye realmente a la reducción de las fluctuaciones de frecuencia de red.

En algunas realizaciones, la información de correlación se usa para determinar si la variación de la frecuencia de red se extiende más allá del intervalo de frecuencia permitido $F_{\max}/F_{\min}$ o si la variación de frecuencia supera el límite de variación, teniendo en cuenta sólo los picos (o caídas) en la frecuencia de red que pueden atribuirse a un pico (o caída) correspondiente de la energía de salida del generador de turbina eólica o central de energía eólica considerados. Esto es tener en cuenta la correlación sobre una base pico a pico.

En otras realizaciones, la información de correlación se usa para el mismo propósito de manera más global (no pico a pico) multiplicando la amplitud de fluctuación no correlacionada por la magnitud de la correlación, que puede ser un número entre 0 y 1 (o al multiplicar la variación de frecuencia no correlacionada por el cuadrado de la fluctuación). “Diluir” de esta manera la amplitud o variación de fluctuación no correlacionada observada tiene en cuenta que sólo una fracción de la amplitud o variación de fluctuación no correlacionada observada se debe a las fluctuaciones de energía de salida del generador de turbina eólica o central de energía eólica considerados.

Un requisito previo de tal medición de correlación es que haya una variación de la energía de salida del generador de turbina eólica. En algunas realizaciones, también denominadas “realizaciones de variación pasiva”, se hace uso de las variaciones de energía de salida provocadas por las variaciones naturales de la velocidad del viento. Estas variaciones de energía pasiva se siguen y se correlacionan con la frecuencia de red medida.

En algunas realizaciones, el límite de las fluctuaciones de energía se elige de tal forma que las fluctuaciones de frecuencia de red provocadas por el suministro de energía se mantienen dentro del intervalo $F_{\max}/F_{\min}$ o la variación de fluctuaciones de frecuencia de red provocadas por el suministro de energía se mantiene por debajo del límite de variación.

En algunas de estas realizaciones, la fluctuación de frecuencia de red en su totalidad (incluyendo la contribución no provocada por la turbina eólica o parque eólico considerados) tiene que mantenerse dentro del intervalo $F_{\max}/F_{\min}$ o por debajo del umbral de variación, mientras que en otras realizaciones sólo la fracción de las fluctuaciones de frecuencia de red que está provocada por el suministro de energía de la turbina eólica o parque eólico considerados se mantiene dentro del intervalo $F_{\max}/F_{\min}$ o por debajo del umbral de variación.

En algunas de las realizaciones en las que la fluctuación de frecuencia de red (total o fraccionada) tiene que mantenerse dentro del intervalo $F_{\max}/F_{\min}$ o por debajo del umbral de variación, el límite de fluctuaciones en la energía de salida se ajusta continuamente hasta el punto de límite necesario justo para mantener la frecuencia de red dentro del intervalo $F_{\max}/F_{\min}$ o la variación por debajo del umbral de variación. Esto significa que la producción de energía por la turbina eólica o parque eólico se maximiza dejando que la energía de salida fluctúe, pero la fluctuación se limita, o modula, si la frecuencia de red va más allá de $F_{\max}/F_{\min}$. Por tanto, el objetivo del ajuste continuo es evitar que la frecuencia de red salga del intervalo $F_{\max}/F_{\min}$ sin perder más producción de energía de la necesaria.

En algunas realizaciones, el funcionamiento de la turbina eólica se conmuta automáticamente entre dos modos de funcionamiento diferenciados, es decir de un modo de funcionamiento normal (es decir un modo sin límite de fluctuación de energía, o con un límite de fluctuación de energía relativamente relajado) a un modo de fluctuación reducida (en el que se activa el límite de fluctuación de energía). La conmutación de modo automática del modo de

funcionamiento normal al modo de fluctuación reducida se activa, en algunas de estas realizaciones, mediante la detección de una reducción de la estabilidad de red más allá de un umbral inferior de conmutación de modo. Conmutar del modo de fluctuación reducida de vuelta al modo de funcionamiento normal puede activarse igualmente mediante la detección de un aumento de la estabilidad de red más allá de un umbral superior de conmutación de modo.

En algunas de las realizaciones de conmutación de modo, el modo de fluctuación reducida se mantiene un intervalo de tiempo mínimo antes de que el modo pueda conmutar de vuelta al modo de funcionamiento normal. Mediante esta medida, puede evitarse la conmutación de modo demasiado frecuente. Además, puede haber un acuerdo contractual con el proveedor de red según el cual el productor de energía eólica se compromete a suministrar energía de salida con fluctuación de energía de salida fuertemente limitada durante un intervalo de tiempo predeterminado, por ejemplo de 15 min. El productor de energía eólica puede tener una compensación por la pérdida de producción experimentada debido a este periodo (a modo de ejemplo) de 15 min de suministro fluido de energía de salida.

En algunas de las realizaciones de conmutación de modo, el límite de fluctuación de energía se mantiene constante durante el modo de fluctuación reducida. La constancia del límite de fluctuación de energía se refiere a la anchura del límite relativo a una energía de salida media; no significa necesariamente que los valores absolutos de los límites de energía superior e inferior se mantengan constantes. En algunas realizaciones, el límite es relativo a un valor medio de la energía producida. Por ejemplo, si la energía media producida aumenta con el tiempo, los valores absolutos de los límites de fluctuación de energía superior e inferior también aumentarán.

En otras realizaciones de conmutación de modo, el límite de fluctuaciones también se ajusta para evitar que la frecuencia de red salga del intervalo $F_{\max}/F_{\min}$ sin perder más producción de energía de la necesaria, tal como se describió anteriormente. Este ajuste puede ser gradual (un ajuste configurado al principio de la conmutación de modo y después se mantiene constante durante un cierto periodo de tiempo) o continuo. Por tanto, el ajuste de energía de salida para mantener la frecuencia de red dentro del intervalo $F_{\max}/F_{\min}$ o por debajo del umbral de variación, hasta tal punto que el límite sólo necesita mantener la frecuencia de red dentro del intervalo $F_{\max}/F_{\min}$ o la variación por debajo del umbral de variación, se aplica tanto a las realizaciones de ajuste continuo como a las realizaciones de conmutación de modo.

Ya se ha mencionado que limitar la fluctuación de energía puede dar como resultado una pérdida de energía acumulada. Puede evitarse una pérdida de energía acumulada si no sólo se cortan los picos de la energía de salida ("fluctuaciones positivas"), sino también si se levantan o se rellenan las caídas de la energía de salida ("fluctuaciones negativas") de manera simétrica. Sin embargo, en algunas realizaciones, la turbina eólica está en su punto de funcionamiento óptimo durante el funcionamiento en modo normal, que no permite ningún aumento de la energía de salida. Por tanto, la limitación de fluctuaciones de salida se realiza más bien de manera asimétrica, cortando la energía de salida durante fluctuaciones positivas (cortando picos de salida altos), sin levantar (o sin levantar significativamente) la energía de salida relativa durante fluctuaciones negativas. Tal como se explicó anteriormente, cortar la energía de salida durante fluctuaciones positivas se logra, por ejemplo, mediante un ajuste correspondiente del ángulo de paso de pala hacia la posición de bandera.

La rigurosidad del límite de fluctuaciones de energía de salida y/o la posición del umbral que tiene que superarse por la inestabilidad de red para que se realice una conmutación de modo también pueden depender de otros factores distintos de la estabilidad de red monitorizada.

Por ejemplo, en algunas de las realizaciones, se usa un pronóstico de viento para variar el límite de fluctuaciones, por ejemplo para hacerlo más riguroso cuando el pronóstico predice una fluctuación de energía eólica aumentada. Además, en realizaciones de conmutación de modo, el umbral de conmutación de modo puede variarse en respuesta al pronóstico de viento. Por ejemplo, el umbral puede variarse según un pronóstico de fluctuación de energía eólica aumentada de tal forma que la conmutación del modo de funcionamiento normal al modo de fluctuación reducida ya se activa a una reducción menos pronunciada de la estabilidad de red.

De manera similar, en otras realizaciones, se usa una expectativa de consumo de energía en la red eléctrica para hacer variar el límite de fluctuaciones, o para hacer variar el umbral de conmutación de modo. Por ejemplo, una expectativa de consumo de energía que da lugar a una expectativa de fluctuación de frecuencia de red aumentada puede hacer más riguroso el límite de fluctuaciones, o modificar el umbral de conmutación de modo de tal forma que conmutar del modo de funcionamiento normal al modo de fluctuación reducida ya se activa a una reducción menos pronunciada de la estabilidad de red.

Algunas realizaciones se refieren a un sistema de control dispuesto para controlar al menos una turbina eólica lo que puede incluir algunas, o todas, de las turbinas eólicas de un parque eólico en su totalidad, de la forma descrita anteriormente. El sistema de control puede ser un controlador de turbina eólica individual, un controlador de central de energía eólica, un controlador de central eléctrica o un controlador a un nivel superior en la red y conectado al controlador de turbina eólica para enviar órdenes de fluctuación límite. El sistema de control puede estar distribuido, por ejemplo incluir controladores al nivel de parque eólico y de turbina eólica o al nivel de red de suministro.

Algunas realizaciones se refieren a un sistema de control dispuesto para controlar al menos una turbina eólica que puede incluir algunas, o todas, de las turbinas eólicas de un parque eólico en su totalidad, de la forma descrita anteriormente. El sistema de control puede ser un controlador de turbina eólica individual, un controlador de central de energía eólica, un controlador de central eléctrica o un controlador a un nivel superior en la red y conectado al controlador de turbina eólica para enviar órdenes de fluctuación límite. El sistema de control puede estar distribuido, por ejemplo incluir controladores al nivel de parque eólico y de turbina eólica o al nivel de red de suministro.

Un generador de turbina eólica de velocidad variable, que se usa en al menos una de las realizaciones descritas anteriormente y que puede conectarse a una red eléctrica, está equipado con el sistema de control descrito anteriormente. Comprende un rotor con un buje y al menos una pala montada en el rotor tal como se explicó anteriormente. El rotor está conectado, por ejemplo a través de un árbol principal, a un generador para transformar el par del rotor en energía eléctrica. En algunas realizaciones, una caja de engranajes está interconectada entre el rotor y el generador con el fin de transformar la velocidad de rotación del rotor en una mayor velocidad para el generador.

La figura 1 muestra un generador de turbina eólica de velocidad variable a modo de ejemplo (WPS) 1 que es uno de una pluralidad de generadores de turbina eólica de una central de energía eólica (WPP) 2. Tiene un rotor 3 con un buje en el que están montadas, por ejemplo, tres palas 4. El ángulo de paso de las palas del rotor 4 es variable por medio de actuadores de paso. El rotor 3 está soportado por una góndola 5 e impulsa un generador 12 a través de un árbol principal 8, una caja de engranajes 10, y un árbol de alta velocidad 11. Esta estructura es a modo de ejemplo; otras realizaciones usan, por ejemplo, un generador de accionamiento directo 15.

El generador 12 (por ejemplo generador de inducción o síncrono) produce energía eléctrica de salida de una frecuencia relacionada con la velocidad de rotación del rotor 3, que se convierte a la frecuencia de red (por ejemplo aproximadamente 50 ó 60 Hz) mediante un convertidor 19. La tensión de la energía eléctrica así producida se transforma mediante un transformador 9. La salida del transformador 9 son los terminales del generador de turbina eólica 9a. La energía eléctrica del generador de turbina eólica 1 y de los otros generadores de turbina eólica de la central de energía eólica 2 se alimenta a una red de parque eólico 18 (representada por "a" en la figura 1). La red de central de energía eólica 18 se conecta en un punto de acoplamiento común 21 y un transformador de aumento adicional opcional 22 a una red de suministro eléctrico externa de central de energía eólica 20. La red 20 está equipada con capacidad de regulación contra fluctuaciones de frecuencia de red, por ejemplo en forma de productores convencionales que pueden aumentar y disminuir la producción a corto plazo para controlar la frecuencia.

Un sistema de control incluye un controlador de turbina eólica 13 y un controlador de central de energía eólica 23. El controlador de parque eólico 13 controla el funcionamiento del generador de turbina eólica individual 1, por ejemplo selecciona el modo de funcionamiento de carga completa o carga parcial, dependiendo, entre otras cosas, de la velocidad del viento actual, provoca, en el modo de carga parcial, el funcionamiento del generador de turbina eólica en el punto de funcionamiento óptimo ajustando el ángulo de pala y controlando la razón de velocidad de punta al óptimo aerodinámico a la velocidad del viento actual, y controla el convertidor 19 para producir electricidad según recomendaciones del controlador de parque eólico, por ejemplo una instrucción para proporcionar una cierta cantidad de energía reactiva además de la energía activa, etc. El controlador de parque eólico 13 usa señales de entrada diferentes para realizar sus tareas de control, por ejemplo señales que representan condiciones de viento actuales (por ejemplo, procedentes de un anemómetro 14 y una veleta 15), señales de retroalimentación que representan el ángulo de paso, posición de rotor, amplitudes y fases de la tensión y corriente en el generador 12 y los terminales 9a, etc., y señales de orden del controlador de parque eólico 23. El controlador de parque eólico 23 recibe señales representativas de la tensión, corriente y frecuencia en el punto de acoplamiento común 21 (parámetros que puede considerarse que representan la tensión, corriente y frecuencia en la red eléctrica 20) y, opcionalmente, recibe información o señales de orden desde el proveedor de red de suministro (en "c" en la figura 1). Basándose en algunos de estos (y, opcionalmente, otros) parámetros de entrada, el controlador de parque eólico 23 monitoriza la estabilidad de red y, tras la detección de una reducción de estabilidad de red, ordena a los controladores de turbina eólica 13 del generador de turbina eólica 1 y los otros generadores de turbina eólica de la central de energía eólica 2 (en "b" en la figura 1) cambiar el funcionamiento limitando fluctuaciones de la energía de salida suministrada. Tras recibir tal orden el controlador de turbina eólica 13, tras aumentar la velocidad del viento, corta el pico de salida alto que se producirá en funcionamiento normal de carga parcial con eficiencia máxima, por ejemplo, ajustando el ángulo de paso de pala hacia la posición de bandera, al cumplir con la orden de fluctuación límite del controlador de parque eólico. Por tanto, en la realización a modo de ejemplo de la figura 1 la tarea de control del sistema de control para limitar fluctuaciones de salida se comparte por el controlador de parque eólico 23 y el controlador de turbina eólica 13. En otras realizaciones, esta tarea de control la realiza el controlador de turbina eólica 13 solo; en estas realizaciones, el "sistema de control" se representa sólo por el controlador de turbina eólica 13, sin un controlador de parque eólico.

Aunque se espera que el generador de turbina eólica 1 mostrado en la figura 1 tenga tres palas 4, debe observarse que un generador de turbina eólica puede tener un número diferente de palas. Es normal encontrar generadores de turbina eólica que tienen de dos a cuatro palas. El generador de turbina eólica 1 mostrado en la figura 1 es una turbina eólica de eje horizontal (HAWT) ya que el rotor 4 rota alrededor de un eje horizontal. Debe observarse que el rotor 4 puede rotar alrededor de un eje vertical. Tales generadores de turbina eólica que tienen su rotor que rota

alrededor del eje vertical se conocen como turbina eólica de eje vertical (VAWT). Las realizaciones descritas en lo sucesivo no se limitan a HAWT que tienen 3 palas. Pueden implementarse tanto en HAWT como en VAWT, y tener cualquier número de palas 4 en el rotor 4.

5 La coordinación de las regulaciones normal y de perturbación requiere configurar los parámetros del control. Estos parámetros son: banda muerta de control de frecuencia, DB_{Viento} (dentro del intervalo F_{max}/F_{min}), característica de respuesta de frecuencia, R_{Viento} (caída); fluctuación de energía eólica global permitida, $\Delta P_{FluctViento}$; tasa de rampa de seguimiento de energía, $Ramp_{Viento}$ y cantidad de reserva de energía eólica $P_{ResViento}$. Se propone aquí un algoritmo básico para esta coordinación.

10 Con el fin de simplificar la presentación del concepto, en el algoritmo no se tiene en cuenta la distinción entre regulación normal y regulación de perturbación. Esto significa que puede considerarse que los valores especificados de desviación de frecuencia máxima y reservas de energía requeridas caracterizan el funcionamiento o bien de regulación normal o bien de regulación de perturbación (evidentemente, los valores respectivos serán diferentes). Dado que códigos de red especifican una respuesta de frecuencia lineal (estática) a partir centrales convencionales, la respuesta combinada (equivalente) al nivel de sistema es tal como se muestra en el lado izquierdo de la figura 3, donde se usan la desviación de frecuencia máxima Δf_{Max} 38 y la reserva de energía convencional requerida $\Delta P_{ResConv}$ 35. La respuesta de frecuencia de energía eólica tal como se define en la figura 2 también se representa aquí en el lado derecho de la figura 3. En la figura 2, la respuesta de frecuencia 21 viene dada por un umbral de frecuencia bajo 24 junto con una tasa de caída de baja frecuencia R_{LF} 22, y umbral de frecuencia alto 25 junto con una tasa de caída de alta frecuencia R_{HF} 23. Dado que en la arquitectura de control de energía eólica elegida la respuesta de frecuencia se gestiona de manera central, la figura 3 agrupa la respuesta de frecuencia del sistema global en dos grupos principales:

a) respuesta de frecuencia de generación convencional y

b) respuesta de frecuencia de generación de energía eólica. En este caso se lleva a cabo la coordinación entre estos dos grupos y se basa en la figura 3.

25 La figura 3 muestra la respuesta de frecuencia para la energía convencional 31, que tiene una banda muerta DB_{conv} 39, que está claramente dentro de los límites superior e inferior 33 y 34 de la banda muerta de energía eólica 40. La tasa de caída del viento R_{Viento} 32 y 36 define junto con la banda muerta 40 la respuesta de frecuencia global para la energía eólica, en algunas realizaciones la tasa de caída puede ser diferente para situaciones de alta y baja frecuencia. En comparación con la respuesta para energía convencional 31, queda claro que está disponible una fluctuación de energía eólica global permitida, $\Delta P_{FluctViento}$ 41.

El algoritmo de coordinación propuesto viene dado por las siguientes tres etapas:

1- Definir:

a. Desviación estática máxima (permitida) de frecuencia de sistema tras un cambio de carga de dimensionamiento, Δf_{Max} . Este valor es diferente entre códigos de red, tal como se muestra por ejemplo en la figura 15.

35 b. Cantidad de reservas activadas de frecuencia de sistema requeridas, ΔP_{ResSis} . Este valor también difiere de sistema a sistema y depende del cambio de carga de dimensionamiento y la característica de frecuencia de carga.

c. Desviación de frecuencia permitida máxima provocada por fluctuaciones de energía eólica, $\Delta f_{WindFluct}$.

d. Banda muerta de los reguladores de velocidad de centrales convencionales, DB_{Conv} , definida en el código de red respectivo.

40 2- Determinar las reservas de energía de los generadores individuales, incluyendo los WPP, como resultado, por ejemplo, del comercio en el mercado de regulación. Esto proporciona:

a. La cantidad total de reserva de centrales convencionales, $\Delta P_{ResConv}$.

b. La cantidad total de reserva de producción de energía eólica, $\Delta P_{ResViento}$.

45 c. La capacidad instalada P_{N-WPPI} de centrales eólicas WPP-i que contribuyen con reservas de regulación, es decir conectadas al sistema de control como en la figura 12. Debe satisfacerse la siguiente ecuación básica:

$$\Delta P_{ResSis} = \Delta P_{ResConv} + \Delta P_{ResViento} \quad (1)$$

3- Determinar los parámetros para el control de frecuencia de energía eólica centralizado: DB_{Viento} , R_{Viento} , $\Delta P_{FluctViento}$, $\Delta P_{ResViento}$ y $Ramp_{Viento}$. Basándose en la figura 3 y las etapas anteriores, estos parámetros vienen dados por:

$$DB_{Viento} = \Delta f_{FluctViento} \quad (2)$$

$$R_{Viento} = \frac{\Delta f_{Max} - \Delta f_{FluctViento}}{f_0} \cdot \frac{\sum_n P_{N-WPPi}}{\Delta P_{ResViento}} \quad (3)$$

$$\Delta P_{Reduc} \geq \Delta P_{ResViento} \quad (4)$$

5 Configurar un valor adecuado para $Ramp_{Viento}$ es controvertido, dado que la intención de esta rampa es seguir un eventual aumento de la energía disponible. Este aumento en producción es viable siempre que:

- i) se permite que la producción de energía eólica produzca de manera diferente de la energía programada,
- ii) la frecuencia de red esté por debajo de $(f_0 + DB_{Viento})$, de lo contrario el controlador de frecuencia se activará produciendo un efecto autorre restrictivo, y
- iii) la configuración de tasa de rampa sea según el ancho de banda del control de frecuencia secundario.

10 Sin embargo, no hay riesgo de crear una sobrefrecuencia por este aumento de rampa ya que el control de frecuencia de energía eólica se activa para frecuencias más allá de $(+) DB_{Viento}$, generando de esta forma un efecto autorre restrictivo. Un inconveniente evidente del limitador de rampa es que no puede restringir las caídas de energía eólica.

15 Si la producción de energía eólica se hace funcionar con un cierto $\Delta P_{ResViento}$ 37 tal como se muestra en la figura 3, entonces la caída de frecuencia provocada por una caída de energía eólica disponible hará uso propio de la reserva activada de frecuencia del $\Delta P_{ResViento}$ 37. De esta forma, la desviación de frecuencia provocada por el viento estará autorrestringida a $(-) DB_{Viento}$ 40, dando tiempo para la actuación de control de frecuencia secundario. De manera adicional, después de una eventual caída de energía seguida por un aumento en energía disponible, la producción de energía eólica se restaurará de manera automática con una tasa de rampa. El valor de $Ramp_{Viento}$ debe elegirse según algunos criterios del operador de sistema de transmisión (TSO), pero en general no debe ser mayor que el ancho de banda del control de frecuencia secundario.

La figura 4 muestra un ejemplo de arquitectura de control centralizada para una central de energía eólica.

25 La figura 5 muestra una tabla con diferentes ejemplos de intervalos de frecuencia para diversos requisitos de red como función del estado del sistema de red, donde los intervalos configuran los valores de umbral para las bandas muertas. Cuanto mayor es el intervalo de frecuencia, más grave es el estado del sistema de red.

La figura 6 muestra un diagrama de flujo de un método según la invención de hacer funcionar un sistema de energía eléctrica, que comprende al menos un generador de turbina eólica y al menos otra fuente de energía. La etapa 900 es configurar un conjunto de requisitos y límites técnicos para el sistema de energía eléctrica, incluyendo una reserva de energía total y al menos uno de: desviación de frecuencia eléctrica máxima y fluctuaciones de frecuencia eléctrica de energía eólica permitidas. La etapa 901 es distribuir la reserva de energía total entre la al menos otra fuente de energía y una capacidad de energía eólica total disponible desde el al menos un generador de turbina eólica, y calcular en respuesta a lo mismo una cantidad de reserva de energía desde el al menos un generador de turbina eólica. Y la etapa 902 es proporcionar configuraciones para un controlador de energía eólica, comprendiendo las configuraciones el conjunto de requisitos técnicos y la cantidad de reserva de energía desde el al menos un generador de turbina eólica.

El término otra fuente de energía tiene que entenderse como una fuente de energía de “energía no eólica”, es decir una central eléctrica convencional alimentada con carbón, central de energía nuclear o una central de energía hidroeléctrica, pero no se limita a esos tipos.

40 El término generador de turbina eólica, WPS, tiene que entenderse como un generador de turbina eólica único según la figura 1, pero en algunas realizaciones también puede ser un grupo de generador de turbina eólica según la figura 1 conectado a un punto de acoplamiento común, por tanto, de un operador de sistema de energía, considerado como una fuente de energía eólica desde una ubicación.

45 El término central de energía eólica, WPP puede ser en algunas realizaciones una central de energía eólica única con una pluralidad de generadores de turbina eólica según la figura 1. En otras realizaciones, central de energía eólica tiene que entenderse como una agregación de centrales de energía eólica ubicadas en ubicaciones geográficas diferentes, ya sean adyacentes entre sí o remotas unas de otras, pero todas ellas pueden controlarse por medio del supervisor de la presente invención.

- Aunque la presente invención se ha descrito en conexión con las realizaciones especificadas, no debe interpretarse que está limitada de ninguna manera a los ejemplos presentados. El alcance de la presente invención tiene que interpretarse a la vista del juego de reivindicaciones adjunto. En el contexto de las reivindicaciones, los términos “que comprende” o “comprende” no excluyen otros elementos o etapas posibles. Además, no debe interpretarse que la mención de referencias tales como “un” o “una”, etc. excluya una pluralidad. Tampoco debe interpretarse que el uso de signos de referencia en las reivindicaciones con respecto a elementos indicados en las figuras limite el alcance de la invención. Además, características individuales mencionadas en diferentes reivindicaciones pueden combinarse posiblemente de manera ventajosa, y la mención de esas características en diferentes reivindicaciones no excluye que una combinación de características no sea posible y ventajosa.
- 5
- 10
- Cualquier intervalo o valor de dispositivo dado en el presente documento puede extenderse o modificarse sin perder el efecto buscado, tal como será evidente para el experto en la técnica.
- Se entenderá que los beneficios y ventajas descritos anteriormente pueden referirse a una realización o pueden referirse a varias realizaciones. Además, se entenderá que la referencia a “un” elemento se refiere a uno o más de esos elementos.
- 15
- Se entenderá que la descripción anterior de una realización preferida se proporciona sólo a modo de ejemplo y que los expertos en la técnica pueden realizar diversas modificaciones. La memoria descriptiva, ejemplos y datos anteriores proporcionan una descripción completa de la estructura y uso de realizaciones a modo de ejemplo de la invención. Aunque anteriormente se han descrito diversas realizaciones de la invención con un cierto grado de particularidad, o con referencia a una o más realizaciones individuales, los expertos en la técnica pueden realizar múltiples modificaciones de las realizaciones dadas a conocer sin alejarse del alcance de esta invención tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.
- 20

REIVINDICACIONES

1. Método para hacer funcionar un sistema energía eléctrica, que comprende al menos un generador de turbina eólica y al menos otra fuente de energía, siendo la otra fuente de energía una fuente de energía no eólica, el método comprende las etapas de:

5 configurar un conjunto de requisitos y límites técnicos para el sistema de energía eléctrica, incluyendo una reserva de energía total y al menos uno de: desviación de frecuencia eléctrica máxima y fluctuaciones de frecuencia eléctrica de energía eólica permitidas;

10 distribuir la reserva de energía total entre la al menos otra fuente de energía y una capacidad de energía eólica total disponible desde el al menos un generador de turbina eólica, y calcular en respuesta a lo mismo una cantidad de reserva de energía desde el al menos un generador de turbina eólica;

proporcionar configuraciones para un controlador de energía eólica, comprendiendo las configuraciones el conjunto de requisitos técnicos y la cantidad de reserva de energía desde el al menos un generador de turbina eólica,

en el que la etapa de determinar las reservas de energía totales se basa en:

15 la desviación de frecuencia eléctrica máxima y una reserva de energía activada de frecuencia de sistema,

las fluctuaciones de frecuencia eléctrica de energía eólica máximas permitidas y

una banda muerta de un regulador de velocidad de la al menos una central convencional.

2. Método según la reivindicación 1, en el que el método comprende además la etapa de:

20 detectar si el sistema energía eléctrica está en un modo de funcionamiento normal o en una regulación de perturbación, y actuar en consecuencia.

3. Método según la reivindicación 1, en el que el conjunto de requisitos técnicos incluye tanto un valor para fluctuaciones eléctricas de energía eólica permitidas como un valor para desviación de frecuencia eléctrica aceptable máxima.

25 4. Método según la reivindicación 1, en el que la reserva de energía total es una suma de una reserva de energía desde la al menos otra fuente de energía y la cantidad de reserva de energía desde el al menos un generador de turbina eólica.

5. Método según la reivindicación 1, en el que la reducción de energía eólica es mayor o igual que la cantidad de reserva de energía desde el al menos un generador de turbina eólica.

30 6. Método según la reivindicación 1, en el que se determina un conjunto de parámetros para un controlador de frecuencia de energía eólica, incluyendo al menos uno o más de:

una banda muerta de frecuencia, una característica de respuesta de frecuencia, fluctuación de energía eólica, una reducción de energía eólica y tasa de rampa de seguimiento de energía.

7. Método según la reivindicación 6, en el que la característica de respuesta de frecuencia se calcula como:

$$R_{Viento} = \frac{\Delta f_{Max} - DB_{Viento}}{f_0} \cdot \frac{\sum_n P_{N-WPPI}}{\Delta P_{Res viento}}$$

35 8. Método según la reivindicación 6, en el que la fluctuación de energía eólica se calcula como:

$$\Delta P_{FluctViento} = \frac{\Delta f_{FluctViento} - DB_{Conv}}{\Delta f_{Max} - DB_{Conv}} \Delta P_{ResConv}$$

9. Sistema de energía eléctrica, que comprende al menos un generador de turbina eólica y al menos otra fuente de energía, siendo la otra fuente de energía una fuente de energía no eólica, y un controlador que está dispuesto para funcionar según el método según la reivindicación 1 a reivindicación 8.

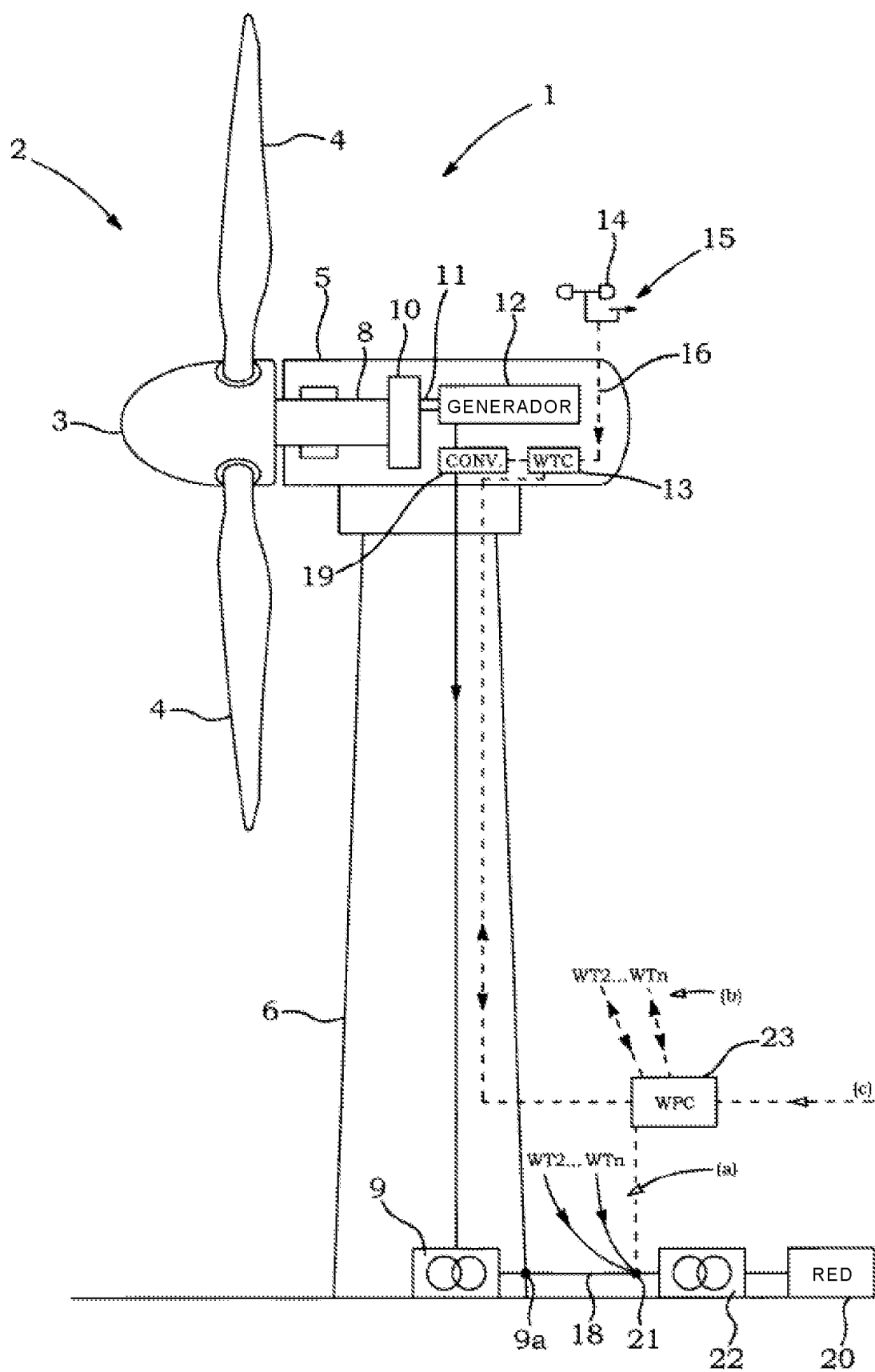


Figura 1

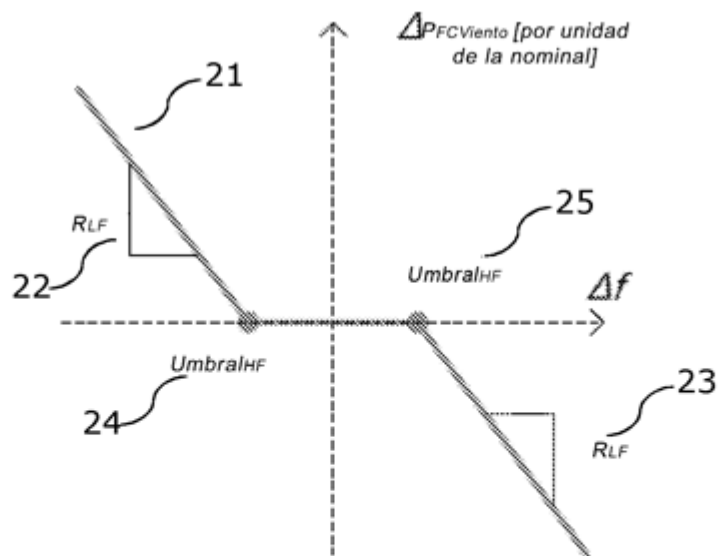


Figura 2

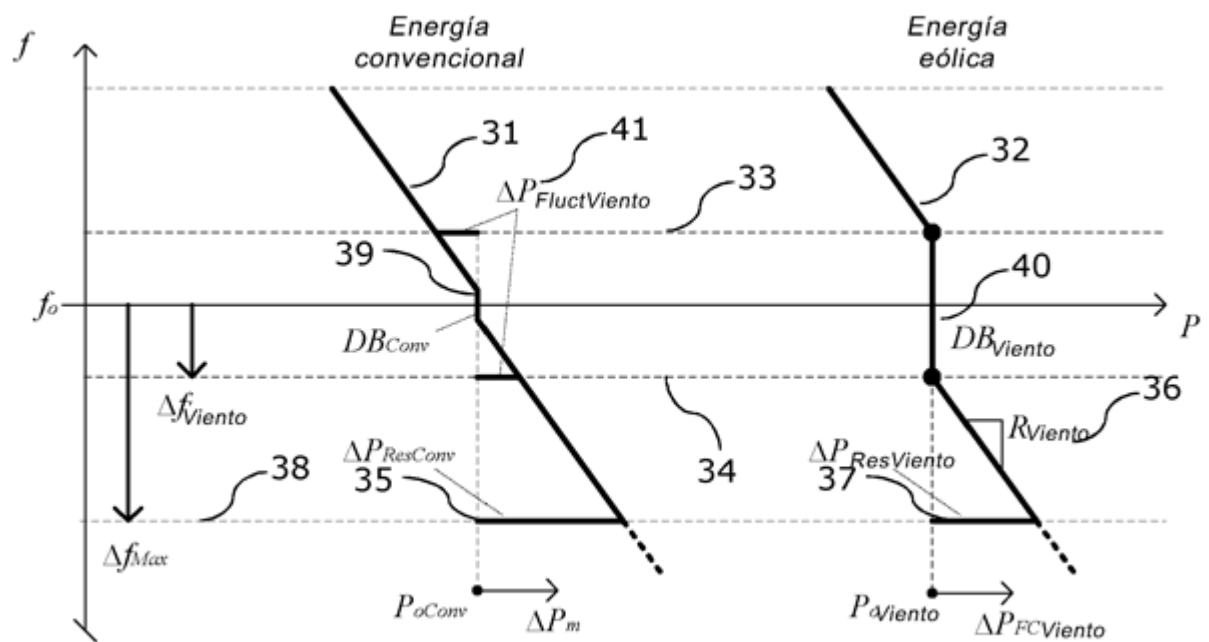


Figura 3

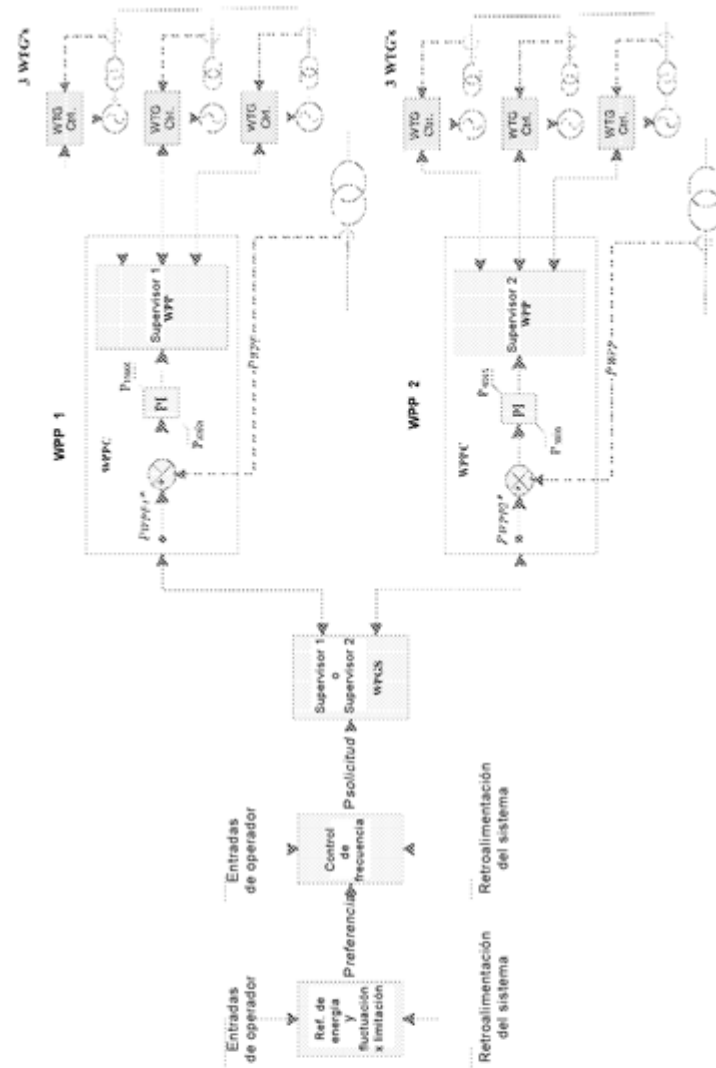


Figura 4

Estado del sistema		Intervalo de frecuencia [Hz]		
A	Intervalo de funcionamiento normal	de 49,8 a 50,2	de 49,5 a 50,5	de 49,9 a 50,1
B	Perturbaciones de sistema de transmisión	Entre 48,0-49,8 (bajo)	Entre 47,5-49,5 (bajo)	Entre 49,5-49,9 (bajo)
		Entre 50,2-52,0 (alto)	Entre 50,5-52,0 (alto)	Entre 50,1-52,0 (alto)
C	Sistema de transmisión excepcional	Entre 47,0-48,0 (bajo)	Entre 47,0-47,5 (bajo)	Entre 47,0-49,0 (bajo)

Figura 5

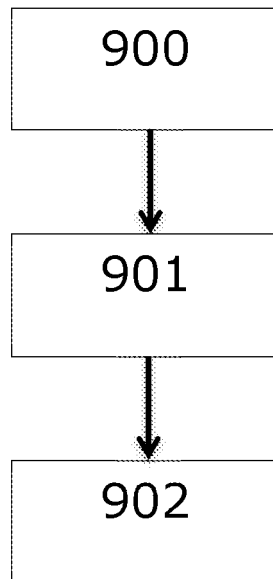


Figura 6