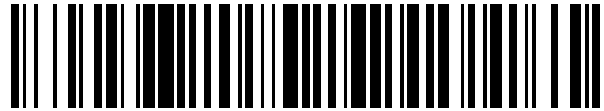


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 582 003**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/38**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.06.2009 E 09772363 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.06.2016 EP 2311164**

54 Título: **Método y sistema para controlar una planta de generación eólica que comprende un número de generadores de turbina eólica**

30 Prioridad:

**30.06.2008 DK 200800910**  
**30.06.2008 US 76932 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**08.09.2016**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**GARCIA, JORGE MARTINEZ**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 582 003 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 sistema para controlar una planta de generación eólica que comprende un número de generadores de turbina eólica

5

**Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método y sistema para controlar una planta de generación eólica, o un grupo de plantas de generación eólica, comprendiendo cada planta de generación eólica un número de generadores de turbina eólica, estando conectadas la planta o plantas de generación eólica a una red eléctrica externa. Especialmente, la invención se refiere a un método y a un sistema para controlar la potencia de salida real de dicha planta de generación eólica o grupo de plantas de generación eólica, para contribuir a la estabilización de la frecuencia en la red eléctrica.

10

**Antecedentes de la invención**

Una planta de generación eólica comprende un número de generadores de turbina eólica (WTG, del inglés "Wind Turbine Generators"), cada uno de los cuales comprende una turbina conectada a un generador para convertir la energía mecánica en la turbina a energía eléctrica. La planta de generación eólica está conectada adicionalmente a una red de energía eléctrica para proporcionar la energía eléctrica generada por los WTG a la red eléctrica.

20

La red eléctrica debería tener parámetros definidos, en particular una tensión definida y una frecuencia definida, por ejemplo 50 Hz. La estabilidad de los parámetros de la red eléctrica depende de una diversidad de variables que incluyen el equilibrio entre la potencia generada y la potencia consumida en la red en cada instante. Cualquier desequilibrio conduce a cambios en la frecuencia de la red. Cuando se genera más potencia que la que se consume en la red, la frecuencia se incrementa. Cuando se consume más potencia que la generada, la frecuencia disminuye. Es importante tener una frecuencia estable en la red, es decir, mantener las fluctuaciones de frecuencia tan pequeñas como sea posible.

25

En una planta de generación de accionamiento por viento, cada turbina eólica es accionada preferiblemente a velocidad variable, velocidad que se adapta a la velocidad del viento, por razones de rendimiento y debido a que en caso contrario hay un incremento en las tensiones sufridas por las partes mecánicas de la turbina. Dado que las turbinas son accionadas a velocidad variable, sus velocidades de rotación individuales se desacoplan de la frecuencia de la red eléctrica. En consecuencia, hay alguna libertad entre la frecuencia de la red eléctrica y la velocidad de rotación de las turbinas, lo que significa que la potencia suministrada por una planta de generación eólica es independiente de la frecuencia actual de la red eléctrica.

30

35

Dado que, generalmente, el número de plantas de generación eólica en una red eléctrica se incrementa, hay una demanda creciente por parte de los operadores de la red para tener la capacidad de controlar la potencia suministrada por las plantas de generación eólica de acuerdo con las variaciones de frecuencia en la red.

40

Los documentos EP 1467463 y US 2007/0085343 tratan sobre el control de la salida de potencia real de una planta de generación eólica conectada a una red eléctrica para contribuir a la estabilización de la red eléctrica controlando la producción de potencia real de la planta de generación eólica dependiendo del valor de la frecuencia de la red. Es decir cuando la frecuencia en la red es alta, se controla la planta de generación eólica para disminuir la potencia real proporcionada a la red, y viceversa. Especialmente el documento US 2007/0085343 explica el uso de la inercia de las turbinas eólicas para, a bajas frecuencias de red, tener la capacidad de suministrar más potencia que la potencia nominal a la red durante un corto periodo. No obstante, dicha estabilización de frecuencia solo podría ser utilizable durante un breve momento. De ese modo, es importante controlar el uso de la inercia de modo que no se use demasiado tiempo, de modo que la velocidad de rotación de las turbinas se haga demasiado lenta o incluso se detengan.

45

50

Existe la necesidad de unas formas alternativas de control de la producción de potencia real de una planta de generación eólica para tener la capacidad de contribuir a la estabilización de la frecuencia de la red eléctrica.

55

**Sumario de la invención**

En vista de lo anterior, es un objeto de la presente invención controlar la producción de potencia real de una planta de generación eólica para contribuir a la estabilización de frecuencia en una red eléctrica a la que se conecta la planta de generación eólica.

60

Es otro objeto de la invención proporcionar a los operadores de red herramientas y métodos útiles para la contribución a la estabilización de la frecuencia de la red eléctrica.

65

Es otro objeto de la invención hacer que una planta de generación eólica imite el comportamiento de una planta de generación síncrona.

Es otro objeto más de la invención controlar la planta de generación eólica para conseguir la amortiguación de las variaciones de frecuencia en la red eléctrica.

5 De acuerdo con un primer aspecto, la presente invención se realiza mediante un método para controlar una planta de generación eólica que comprende al menos un generador de turbina eólica, estando conectada la planta de generación eólica a una red eléctrica para suministrar potencia a la red eléctrica. El método comprende:

- 10 detectar una frecuencia de la red eléctrica;
- calcular una tasa de variación en la frecuencia detectada de la red eléctrica;
- 10 calcular una variación requerida de la potencia suministrada por la planta de generación eólica basándose en un valor de la inercia de la planta de generación eólica y la tasa de variación de frecuencia calculada;
- calcular una variación requerida de la potencia suministrada por cada generador de turbina eólica de la planta de generación eólica basándose en la variación requerida calculada de la potencia suministrada por la planta de generación eólica y un nivel de potencia actual de cada generador de turbina eólica.
- 15 Se usa entonces la variación de potencia requerida calculada resultante para controlar cada generador de turbina eólica para suministrar potencia a la red.

20 Controlando la producción de potencia de la planta de generación eólica basándose en la tasa de variación de frecuencia de la red eléctrica, puede conseguirse un comportamiento similar al comportamiento de una planta de generación síncrona. Esto es ventajoso para un operador de la red eléctrica dado que una planta de generación síncrona tiene un comportamiento natural que es ventajoso en lo que se refiere a la amortiguación de variaciones de frecuencia en la red eléctrica.

25 De acuerdo con una realización de la invención, la variación requerida de la potencia suministrada por la planta de generación eólica se calcula adicionalmente usando un valor de la frecuencia detectada de la red eléctrica. Mediante el cálculo de la variación de potencia requerida usando un valor de frecuencia detectada de la red eléctrica, además del uso de la tasa de variación de frecuencia y la inercia de la planta de generación eólica, se consigue una variación de potencia requerida que es proporcional a la potencia nominal de la planta de generación eólica. Esta es una estimación bastante buena de la potencia que puede suministrarse hacia la red eléctrica, mientras al mismo tiempo la estimación es fácil de calcular.

35 De acuerdo con otra realización de la invención, la variación requerida de la potencia suministrada por la planta de generación eólica se calcula adicionalmente basándose en una variable proporcional a la energía que reside en las masas en rotación de la planta de generación eólica. Mediante cálculo de la variación de potencia requerida basándose en una variable proporcional a la energía que reside en las masas de rotación de la planta de generación, además del uso de la tasa de variación de frecuencia y de la inercia de la planta de generación eólica, la variación de potencia requerida está bien adaptada a la energía actual de la inercia: Con baja producción de potencia, la variación de la potencia será baja, lo que es bueno para la planta de generación eólica, dado que la banda de potencias de operación es estrecha. Con una producción de potencia alta, la variación de potencia puede ser alta, lo que da más posibilidades de control para que el operador de la red controle la frecuencia de la red.

45 De acuerdo con otra realización más, el método comprende además detectar una velocidad del viento incidente en la planta de generación eólica, y la variable proporcional a la energía que reside en las masas en rotación de la planta de generación eólica es la velocidad del viento incidente detectada en la planta de generación eólica. Mediante el uso de la velocidad del viento incidente, el cálculo de la variación de potencia requerida se actualizará o incluso anticipará dado que la velocidad del viento incidente puede usarse para predecir la energía que reside en las masas en rotación en los siguientes segundos. También, la inercia equivalente emulada seguirá la velocidad del viento de modo que si hay un viento ligero, se emula una planta de generación síncrona pequeña y si hay fuerte viento, se emula una planta de generación síncrona grande.

50 De acuerdo con otra realización adicional, la variable proporcional a la energía que reside en las masas en rotación de la planta de generación eólica es la potencia total actual suministrada por la planta de generación eólica a la red eléctrica. Mediante el uso de la potencia total, se consigue un cálculo no complicado que para la mayor parte de las aplicaciones produce un resultado satisfactorio.

55 De acuerdo con otra realización, el método comprende además las etapas de: si la frecuencia detectada está por debajo de un valor mínimo de umbral, calcular la tasa de variación de frecuencia mediante el uso del valor mínimo de umbral en lugar de la frecuencia detectada. De ese modo, se evita el riesgo de usar demasiada energía desde las masas en rotación que dé como resultado una velocidad de rotación demasiado baja.

60 De acuerdo con otra realización más, el método comprende además las etapas de: comparar la tasa de variación de frecuencia calculada con un valor de umbral, y controlar cada generador de turbina eólica de acuerdo con el método solamente si la tasa de variación de frecuencia calculada excede el valor de umbral. De ese modo, el método de control de la invención se limita a ser usado cuando los cambios de frecuencia en la red son suficientemente intensos, de modo que se ahorren recursos de datos.

De acuerdo con otra realización, en la que la planta de generación eólica comprende además un dispositivo de almacenamiento de energía, el método comprende además: calcular una variación requerida de la potencia suministrada/absorbida del dispositivo de almacenamiento de energía basándose en la variación requerida calculada de la potencia suministrada por la planta de generación eólica; y controlar el dispositivo de almacenamiento de energía de acuerdo con su variación de potencia requerida. De ese modo, la planta de generación eólica se convierte en un recurso muy flexible en lo que se refiere a la contribución a la estabilización de la frecuencia en la red eléctrica, dado que o bien se usan solo los WTG, o bien se usa el dispositivo de almacenamiento de energía para el suministro de potencia al mismo tiempo que los WTG, o solo se usa el dispositivo de almacenamiento de energía para suministrar potencia a la red, o la absorción de energía desde la red y/o desde los WTG.

De acuerdo con un segundo aspecto, la presente invención se realiza mediante un sistema para controlar una planta de generación eólica que comprende al menos un generador de turbina eólica, en el que la planta de generación eólica está conectada a una red eléctrica. El sistema comprende:

- Una unidad de detección para la detectar una frecuencia de la red eléctrica;
- Un primer medio de cálculo para calcular la tasa de variación en la frecuencia detectada de la red eléctrica;
- Un segundo medio de cálculo para calcular una variación requerida de la potencia suministrada por la planta de generación eólica basándose en un valor de la inercia de la planta de generación eólica y la tasa de variación de frecuencia calculada;
- Un tercer medio de cálculo para calcular una variación requerida de la potencia suministrada por cada generador de turbina eólica de la planta de generación eólica basándose en la variación requerida calculada de la potencia suministrada por la planta de generación eólica y un nivel de potencia actual de cada generador de turbina eólica.
- Una unidad de control para controlar cada generador de turbina eólica para el suministro de la potencia a la red de acuerdo con su variación de potencia requerida calculada.

Disponiendo el sistema de control para controlar la producción de potencia de la planta de generación eólica basado en la tasa de variación de frecuencia de la red eléctrica, puede conseguirse un comportamiento similar al comportamiento de una planta de generación síncrona. Esto es ventajoso para un operador de la red eléctrica dado que una planta de generación síncrona tiene un comportamiento natural que es ventajoso en lo que se refiere a la amortiguación de las variaciones de frecuencia en la red eléctrica.

De acuerdo con una realización del segundo aspecto, el sistema comprende una primera sección de cálculo para calcular la tasa de variación en la frecuencia detectada de la red eléctrica para variaciones positivas de frecuencia y una segunda sección de cálculo para calcular la tasa de variación en la frecuencia detectada de la red eléctrica para variaciones negativas de frecuencia. De ese modo, las variaciones negativas y positivas de frecuencia podrían tratarse de modo diferente. Por ejemplo, para variaciones negativas de frecuencia, debería usarse así un cálculo de frecuencia mínima separado. También podrían implementarse fácilmente valores de umbral independientes para variaciones de frecuencia tanto negativas como positivas.

En una realización preferida adicional del segundo aspecto de la invención, el segundo medio de cálculo se dispone para calcular una variación requerida de la potencia suministrada por la planta de generación eólica basado en un valor de la inercia de la planta de generación eólica, la tasa de variación de frecuencia calculada y un valor de la frecuencia detectada de la red eléctrica.

En una realización preferida adicional más del segundo aspecto, el sistema comprende además un detector para la detección de la velocidad del viento incidente en la planta de generación eólica, y en el que la variable proporcional a la energía que reside en las masas en rotación de la planta de generación eólica es la velocidad del viento incidente detectada por el detector.

En otra realización preferida del segundo aspecto de la invención, la planta de generación eólica comprende además un dispositivo de almacenamiento de energía, y el tercer medio de cálculo se dispone adicionalmente para calcular una variación requerida de la potencia suministrada/absorbida por el dispositivo de almacenamiento de energía basado en la variación requerida calculada de la potencia suministrada por la planta de generación eólica, y una unidad de control para el control del dispositivo de almacenamiento de energía de acuerdo con su variación de potencia requerida.

De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, la presente invención se realiza mediante un producto de programa informático dispuesto para hacer que un ordenador de un sistema de control realice las etapas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de acuerdo con el primer aspecto de la invención.

Surgirán otros objetivos, características y ventajas de la presente invención a partir de la descripción detallada a continuación, a partir de las reivindicaciones adjuntas así como de los dibujos.

En general, todos los términos usados en las reivindicaciones han de interpretarse de acuerdo con su significado ordinario en el campo técnico, a menos que explícitamente se defina lo contrario en el presente documento. Todas

5 las referencias a "un/una/el/la [elemento, dispositivo, componente, medio, etapa, etc.]" han de interpretarse abiertamente como referencias a al menos un caso de dicho elemento, dispositivo, componente, medio, etapa, etc., a menos que explícitamente se establezca lo contrario. Como un ejemplo, la expresión "una planta de generación eólica" debería interpretarse como al menos una planta de generación eólica, por ejemplo un grupo de plantas de generación. Adicionalmente, las etapas de cualquier método divulgado en el presente documento no han de realizarse en el orden exacto divulgado, a menos que se establezca explícitamente.

**Breve descripción de los dibujos**

10 Lo anterior, así como objetos, características y ventajas adicionales de la presente invención, se entenderán mejor a través de la descripción detallada a continuación, ilustrativa y no limitativa, de realizaciones preferidas de la presente invención, con referencia a los dibujos adjuntos, en donde los mismos números de referencia se usarán para elementos similares, en los que:

15 La Figura 1 ilustra un diagrama de bloques esquemático del sistema de generación para el que se podría usar un sistema de control de acuerdo con la invención;  
 la Figura 2 muestra un diagrama de flujo de un método para controlar una planta de generación eólica de acuerdo con una realización de la invención;  
 20 la Figura 3 es un diagrama de bloques esquemático del sistema para controlar una planta de generación eólica de acuerdo con una realización de la invención;  
 la Figura 4 es un diagrama de bloques esquemático de otra realización del sistema para controlar una planta de generación eólica;  
 la Figura 5 muestra un diagrama de bloques esquemático de una unidad de cálculo de velocidad equivalente de la planta de generación eólica de acuerdo con la invención.

**Descripción detallada de realizaciones preferidas**

La Figura 1 muestra un sistema de generación que tiene una planta de generación eólica 20 que está conectada a una red eléctrica externa 30. La red eléctrica comprende un número de cargas y generadores, es decir, plantas de generación. La planta de generación eólica comprende un número de generadores de turbina eólica, WTG, 21 a-n. En dicha red eléctrica es necesario conseguir un equilibrio entre la potencia generada y la potencia consumida en la red en cada instante. En caso contrario, la frecuencia de la red fluctuaría, lo que afectaría negativamente a las cargas y plantas de generación conectadas. La Figura 1 comprende además un sistema de control 10 para controlar la producción de potencia real de la planta de generación eólica 20 de acuerdo con la invención.

35 En plantas de generación síncrona convencionales, tales como las plantas de generación nuclear o plantas de generación de combustibles fósiles, las turbinas trabajan a velocidades de rotación que son proporcionales a la frecuencia de la red eléctrica a la que se conecta la planta, es decir, la velocidad de rotación de las turbinas está acoplada a la frecuencia de la red eléctrica. En dichas plantas, si cambia la frecuencia de la red, la velocidad de rotación de las turbinas ha de seguir el cambio de la frecuencia. Por ejemplo si la frecuencia baja, la planta de generación suministra más potencia que su potencia nominal durante el cambio de frecuencia de la red, para ser capaz de seguir la frecuencia de la red. Es decir, se suministra la energía procedente de la inercia del rotor para bajar la velocidad de rotación. Dicho comportamiento forzado es beneficioso para la red eléctrica dado que se amortiguarán automáticamente los cambios rápidos en la frecuencia de la red eléctrica. Los cambios de frecuencia rápidos pueden ser especialmente vulnerables para la red eléctrica.

La invención se basa en la idea de controlar la planta de generación eólica 20 para emular el comportamiento natural de una planta de generación síncrona de modo que la planta de generación eólica reaccione a variaciones de frecuencia de la red eléctrica en una forma similar a cómo reaccionaría una planta de generación síncrona ante variaciones de frecuencia en la red eléctrica.

En lo que sigue, se describen los antecedentes teóricos, en los que se basan los métodos y sistemas de la invención.

55 La energía almacenada en una masa en rotación viene dada por:

$$E = \frac{J\omega^2}{2} \quad (1)$$

en la que J = inercia y  $\omega$  = velocidad de rotación.

60 En consecuencia, la potencia almacenada en una masa rotación viene dada por:

$$P = J\omega \frac{d\omega}{dt} \quad (2)$$

Para una máquina síncrona, la velocidad de rotación es proporcional a la frecuencia de la red eléctrica

$$\omega = f(\text{frecuencia de red}) \sim k \cdot f \quad (3)$$

5 Combinando las fórmulas (2) y (3) anteriores, la potencia almacenada en una masa en rotación de una máquina síncrona es

$$P = Jk_1 f \frac{df}{dt} \quad (4),$$

10 donde  $f$  es la frecuencia de red.

Como se ha mencionado, dado que la velocidad de rotación de una máquina síncrona es directamente proporcional a la frecuencia de la red, ha de seguir la frecuencia de la red, tomando energía de su masa en rotación con cambios de frecuencia negativos y dando energía a su masa en rotación con cambios de frecuencia positivos. En consecuencia, las variaciones de la energía de rotación después de una perturbación para una máquina síncrona serán aproximadamente las siguientes (despreciando pérdidas y la energía almacenada en el eje comprendido):

$$E_i - E_f = \frac{J(\omega_i^2 - \omega_f^2)}{2} = \frac{Jk^2(f_i^2 - f_f^2)}{2} \quad (5),$$

20 en la que  $E_i$  = energía a la frecuencia  $i$  y  $E_f$  = energía a la frecuencia  $f$ .

La potencia suministrada por una máquina síncrona debido a estas perturbaciones de frecuencia depende así de su velocidad de rotación, tasa de cambio de frecuencia y masa.

25 Como se muestra en la fórmula (4), la potencia suministrada/absorbida por una masa en rotación es proporcional a la tasa de variación de la frecuencia de rotación. De acuerdo con la invención, una planta de generación eólica se modeliza para comportarse como una máquina síncrona (inercia de rotación de velocidad fija). En consecuencia, de acuerdo con la invención, la planta de generación eólica se controla para cambiar su producción de potencia real proporcionalmente a la tasa de variación de la frecuencia de la red eléctrica, es decir a cómo de rápido cambia la frecuencia, tasa de cambio de frecuencia.

La Figura 2 muestra un método de acuerdo con la invención para controlar una planta de generación eólica que está conectada a una red eléctrica para suministrar potencia a la red eléctrica. El método comprende las siguientes etapas:

- 35
- detectar 201 una frecuencia de la red eléctrica;
  - calcular 202 una tasa de variación en la frecuencia detectada de la red eléctrica;
  - calcular 203 una variación requerida de la potencia real suministrada por la planta de generación eólica basándose en un valor de la inercia de la planta de generación eólica y la tasa de variación de frecuencia calculada;
  - 40 calcular 204 una variación requerida de la potencia suministrada por cada generador de turbina eólica de la planta de generación eólica basándose en la variación requerida calculada de la potencia real suministrada por la planta de generación eólica y un nivel de potencia actual de cada generador de turbina eólica;
  - 45 controlar 205 cada generador de turbina eólica para suministrar potencia a la red de acuerdo con su variación de potencia real requerida calculada.

La frecuencia detectada de acuerdo con la invención es la frecuencia principal, o la frecuencia básica de la red eléctrica.

50 Podría disponerse un producto de programa informático para llevar a cabo el método cuando se ejecuta en un ordenador. El programa informático podría disponerse para llevar a cabo las etapas 201-204 o todas las etapas 201-205.

La Figura 3 muestra una realización del sistema de control de acuerdo con la invención para controlar la producción de potencia de una planta de generación eólica conectada a una red eléctrica.

55 El sistema comprende:

- Una unidad de detección 301 para la detectar una frecuencia de la red eléctrica;
- Un primer medio de cálculo 302 para calcular la tasa de variación en la frecuencia detectada de la red eléctrica;
- 60 Un segundo medio de cálculo 303 para calcular una variación requerida de la potencia suministrada por la planta de generación eólica basándose en un valor de la inercia de la planta de generación eólica y la tasa de variación de frecuencia calculada;
- Un tercer medio de cálculo 304 para calcular una variación requerida de la potencia suministrada por cada

generador de turbina eólica de la planta de generación eólica basándose en la variación requerida calculada de la potencia suministrada por la planta de generación eólica y un nivel de potencia actual de cada generador de turbina eólica.

5 Una unidad de control 305 para controlar cada generador de turbina eólica para el suministro de la potencia a la red de acuerdo con su variación de potencia requerida calculada.

10 La unidad de control 305 puede ser una unidad separada del resto del sistema de control. El primer medio de cálculo puede comprender adicionalmente un filtro para el filtrado de las tasas de variación de frecuencia que estén por debajo de un valor de umbral definido. El sistema puede comprender también un filtro para el filtrado de variaciones de frecuencia transitorias, es decir, variaciones de frecuencia que sean de corta duración, por ejemplo más cortas que un valor de umbral definido. Adicionalmente, el primer, segundo y tercer medios de cálculo pueden disponerse en una y la misma unidad o en diferentes unidades.

15 La Figura 4 muestra una realización del sistema de control para controlar la producción de potencia de una planta de generación eólica de acuerdo con la invención.

20 El sistema de control se dispone para detectar los valores de frecuencia de la red, o para recibir valores de frecuencia de la red detectados. El sistema de cálculo comprende un filtro 401 para el bloqueo de pequeñas variaciones de frecuencia, es decir se bloquean las variaciones de frecuencia que sean más bajas que un valor predeterminado, o para reducir el cambio de la pendiente en la variación de frecuencia.

25 El sistema de control comprende además una primera sección 410 para el tratamiento de las variaciones positivas de frecuencia y una segunda sección 420 para el tratamiento de las variaciones negativas de frecuencia, estando conectada cada sección al filtro 401 para el bloqueo de pequeñas variaciones de frecuencia. Mediante el uso de secciones separadas para el tratamiento de variaciones negativas y positivas de frecuencia, es posible usar ajustes independientes para variaciones negativas y positivas de frecuencia en los limitadores físicos 411, 421 y limitadores de rampa 414, 424.

30 La primera sección 410 comprende un primer limitador físico 411 conectado al filtro 401. El limitador físico 411 se dispone para filtrar, o bloquear, frecuencias por encima de un cierto nivel  $f_{m\acute{a}x}$ .

35 La primera sección comprende además un primer medio de cálculo 412 conectado al limitador físico 411 para calcular una tasa de variación de frecuencia para los valores de frecuencia detectados mediante una derivación de la frecuencia. La primera sección 410 tiene adicionalmente un filtro de frecuencia 413 conectado al primer medio de cálculo 412 para el bloqueo de variaciones negativas de frecuencia, y un filtro de rampa 414 conectado al filtro de frecuencia 413 para el bloqueo de variaciones de frecuencia que sean más escalonadas que un valor de umbral predeterminado, es decir, en donde la frecuencia se cambia muy rápidamente. En una realización, el filtro de frecuencia 413 puede bloquear también variaciones positivas de frecuencia que sean más bajas que un cierto valor de umbral.

40 En consecuencia, variaciones de frecuencia que sean mayores que un valor de umbral, sean positivas y no sean demasiado escalonadas en el tiempo proseguirán a la siguiente unidad, que es un segundo medio de cálculo 415 para calcular una variación requerida de la potencia suministrada por la planta de generación eólica. Usando la frecuencia detectada en la red eléctrica, se calcula una variación de potencia real proporcional para la planta de generación eólica en el segundo medio de cálculo 415 basándose en una inercia total  $J_{WF}$  de la planta de generación eólica y la tasa de variación de frecuencia  $\Delta f/\Delta t$ . En conexión con la figura 5, se describirá una descripción más detallada de las diferentes realizaciones para el cálculo de la variación de potencia de la planta de generación eólica. La primera sección comprende además un segundo limitador 416 para la limitación del nivel de señal de salida de la unidad de control.

50 La segunda sección 420 para el tratamiento de variaciones negativas de frecuencia comprende un primer limitador físico 421 conectado al filtro 401 para el filtrado, o bloqueo, de frecuencias por encima de un cierto nivel  $f_{m\acute{a}x}$ . La segunda sección comprende además un primer medio de cálculo 422 conectado al limitador físico 421 para calcular una tasa de variación de frecuencia para la variación de frecuencia detectada. La segunda sección 420 tiene adicionalmente un filtro de frecuencia 423 conectado al primer medio del cálculo 422 para el bloqueo de variaciones positivas de frecuencia, y un limitador de rampa 424 conectado el filtro de frecuencia 423 para el bloqueo de variaciones de frecuencia que sean más escalonadas que un valor de umbral predeterminado, es decir, donde la frecuencia cambie muy rápidamente. El filtro de frecuencia 423 puede bloquear también variaciones negativas de frecuencia que sean más bajas que un cierto valor de umbral.

60 Las variaciones de frecuencia que sean mayores que un valor de umbral, sean negativas y no sean demasiado escalonadas en el tiempo proseguirán a la siguiente unidad, que es el segundo medio de cálculo 415 para calcular una variación requerida de la potencia suministrada a la planta de generación eólica. Usando los valores de frecuencia detectados en la red eléctrica, se calcula una variación de potencia proporcional para la planta de generación eólica en el segundo medio de cálculo 415 basándose en una inercia total  $J_{WF}$  de la planta de generación eólica y la tasa de variación de frecuencia  $\Delta f/\Delta t$ . En conexión con la figura 5, se describirá una descripción más

detallada de las diferentes realizaciones para el cálculo de la variación de potencia de la planta de generación eólica. La segunda sección comprende además un segundo limitador 416 para la limitación del nivel de señal de salida de la unidad de control.

5 Para variaciones positivas de frecuencia, no hay problema en disminuir la potencia suministrada por la planta de generación eólica. Aunque, para variaciones negativas de frecuencia, será necesario incrementar la potencia suministrada por la planta de generación eólica sobre la que está actualmente recibiendo del viento. Dicha medida significaría que la energía cinética de los rotores de los WTG en la planta de generación eólica se usa durante un corto momento, disminuyendo de ese modo la velocidad de rotación de los rotores. Para evitar disminuir demasiado la velocidad de rotación de los rotores, es necesario definir cuánta energía cinética puede tomarse de los rotores de la planta de generación eólica. Como una alternativa, tal como se describe adicionalmente a continuación, la planta de generación eólica puede tener un dispositivo de almacenamiento de energía, y la potencia en exceso puede tomarse del dispositivo de almacenamiento de energía en lugar de la energía cinética de los rotores, o la potencia en exceso puede tomarse tanto de la energía cinética de los rotores como de los dispositivos de almacenamiento de energía.

Como se ha mencionado, la planta de generación eólica se emula como una máquina síncrona teórica con una inercia dada, tanto calculada como la inercia total de los rotores de la planta de generación eólica o calculada/seleccionada de acuerdo con cualquier otro criterio. Se define una velocidad de rotación permitida mínima  $\omega_{\min}$  para los WTG. Insertando  $\omega_{\min}$  en la fórmula (5), se calcula una frecuencia más baja posible  $f_{\min}$  de la red eléctrica que puede usarse para la máquina síncrona de acuerdo con lo siguiente:

$$f_{\min}^2 = \frac{\omega_{\min}^2 - \omega_i^2}{k^2} + f_i^2 \quad (6),$$

25 en la que el índice i = valor inicial, antes de la perturbación y el índice mín = mínimo.

La frecuencia mínima calculada se usa en el limitador rígido 421 de la segunda sección, si es necesario. Esto se lleva a cabo de modo que si la frecuencia de la red eléctrica detectada es más baja que  $f_{\min}$ , se usa  $f_{\min}$  en la parte siguiente del cálculo en lugar de la frecuencia de la red eléctrica detectada.

30 La unidad de control comprende además un tercer medio de cálculo 402 que se basa en la variación de la potencia calculada para la planta de generación eólica y el nivel de potencia actual para cada WTG individual, calcula el nivel  $\Delta P$  para cada WTG individual. Uno o todos los medios de cálculo pueden disponerse dentro de una unidad SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). El cálculo realizado en el tercer medio de cálculo podría realizarse basándose en la inercia de cada WTG y la potencia actual suministrada por cada WTG.

Podrían implementarse dos estrategias diferentes para la emulación de la inercia de una máquina síncrona. En una primera estrategia, la variación de potencia de salida calculada de la máquina síncrona equivalente es proporcional a una potencia de diseño de la planta de generación eólica, es decir una potencia nominal de la planta de generación eólica. En ese caso, la inercia es proporcional a la frecuencia de la red, lo que significa que se realizará el siguiente cálculo en el segundo medio de cálculo 415:

$$\Delta P = J_{WF} * f_m * k_2 * \frac{\Delta f}{\Delta t} \quad (7),$$

45 en la que  $\Delta P$  = variación de potencia requerida de la planta de generación eólica,  $J_{WF}$  = inercia total de la planta de generación eólica,  $f_m$  = frecuencia medida de la red y  $k_2$  es una constante.

En una segunda estrategia, la variación de potencia de salida calculada de la máquina síncrona equivalente es proporcional a la potencia de salida actual de la planta de generación eólica, entonces la variación de la potencia de salida calculada dependerá de la producción de la planta de generación eólica, y por lo tanto de la velocidad de rotación. Se realizará el siguiente cálculo en el segundo medio de cálculo 415:

$$\Delta P = J_{WF} * \omega_{WF} * k_1 * \frac{\Delta f}{\Delta t} \quad (8),$$

55 en la que  $\omega_{WF}$  = una velocidad de rotación equivalente de la planta de generación eólica.

Dicha estrategia puede ser más adecuada para plantas de generación eólica por las siguientes razones: si se produce menos potencia que la potencia nominal, la  $\Delta P$  calculada se adapta en consecuencia; por otro lado, si se produce más potencia que la potencia nominal, debería tomarse más energía cinética para suministrarla a la red eléctrica. En esta segunda estrategia la variación de la potencia de salida calculada se adaptará a la potencia producida por la planta de generación eólica en cualquier momento.



Las constantes  $k_2$  y/o  $k_1$  pueden usarse también para incrementar o disminuir el valor de la energía  $J_{WF}$  de la planta de generación eólica.

5 Como se ilustra mediante un interruptor 415a en la figura 4, puede ser posible seleccionar si se implementa la primera o la segunda estrategia.

10 Para implementar la segunda estrategia, se define una variable proporcional a la energía que reside en las masas en rotación de la planta de generación eólica. De acuerdo con una realización, esta variable es la velocidad de rotación equivalente de la planta de generación eólica. En la figura 5, se describe una realización que comprende dos realizaciones alternativas diferentes para la definición de la velocidad de rotación equivalente de la planta de generación eólica de dos variables diferentes como valores de entrada para el cálculo de la velocidad equivalente de la planta de generación eólica.

15 De acuerdo con la primera alternativa, se usan mediciones de la velocidad del viento incidente como valor de entrada a una primera unidad 502 de traducción en la que la velocidad del viento incidente se traduce en una potencia producida total equivalente de la planta de generación eólica. Para la medición de la velocidad del viento, la planta de generación eólica tiene preferiblemente un cierto número de mástiles separados que comprenden sensores de viento. Las mediciones de viento se filtran en un primer filtro 501 antes de que se usen en la primera unidad de producción 502. Adicionalmente, la potencia producida total equivalente de la planta de generación eólica se usa como valor de entrada a una segunda unidad de traducción 503 para la traducción de la potencia producida total equivalente de la planta de generación eólica en la velocidad equivalente actual de la planta de generación eólica.

20 De acuerdo con la segunda alternativa, la potencia  $P_{WF}$  suministrada por la planta de generación eólica a la red se mide en un punto de conexión común de la planta de generación eólica y se usa como valor de entrada en la segunda unidad de traducción 503. La potencia medida puede filtrarse en un segundo filtro 505 antes de usarse como valor de entrada en la segunda unidad de traducción. El segundo filtro puede controlarse por la información 506 del número de turbinas que están conectadas. Esta información se usa para cálculos de la potencia para tener la potencia por unidad/turbina de modo que se calcule la  $\omega_{WF}$  correcta.

25 Adicionalmente, en la realización de la figura 5 es posible conmutar entre dos alternativas mediante el uso de un interruptor lógico 504. Aunque serían también posibles realizaciones de la invención que incluyan solo una de las alternativas.

30 La inercia total de la planta de generación eólica puede calcularse de diferentes maneras. De acuerdo con una realización de la invención, la inercia total de la planta de generación eólica se calcula mediante una suma de la inercia de cada turbina individual comprendida en la planta de generación eólica.

$$\sum_{n=1}^N J_{WTn}$$

35 Como se ha mencionado, la unidad de control comprende un tercer medio de cálculo 402 que, basándose en la variación requerida de la potencia suministrada por la planta de generación eólica y el nivel de potencia actual de cada generador de turbina eólica, calcula la variación de potencia de cada WTG. De acuerdo con una realización de este tercer medio del cálculo 402, el cálculo de la variación de potencia de los WTG individuales podría realizarse mediante una división normal teniendo en cuenta el número de los WTG. De acuerdo con otra realización, la variación de potencia de los WTG individuales se calcularía teniendo en cuenta la velocidad de rotación equivalente  $\omega_{WF}$  de la planta de generación eólica y el uso de cada velocidad de rotación individual  $\omega_i$  para calcular una ganancia para cada WTG (véase  $K_i$  en la figura 4, cuadro 402).

40 De acuerdo con una realización de la invención, la planta de generación eólica puede comprender también al menos un dispositivo de almacenamiento de energía. En esta realización, el dispositivo de almacenamiento de energía puede usarse para suministrar potencia a la red eléctrica cuando la variación de potencia requerida calculada está por encima de un cierto nivel de umbral fijado dependiendo de la inercia total de la planta de generación eólica.

45 De modo similar, si la variación de potencia requerida calculada sugiere que la potencia suministrada sea mucho más baja, el dispositivo de almacenamiento de energía podría usarse para absorber energía suministrada por los WTG o incluso absorber energía de la red eléctrica.

50 Como conclusión, el sistema de control de la planta de generación eólica puede usar; solo los WTG, el dispositivo de almacenamiento de energía al mismo tiempo que los WTG, o solo el dispositivo de almacenamiento.

55 Si se usa el dispositivo de almacenamiento, los límites del controlador deberían adaptarse a esta capacidad extra, usando preferiblemente la primera estrategia, definida en la fórmula (7) para controlar la planta de generación.

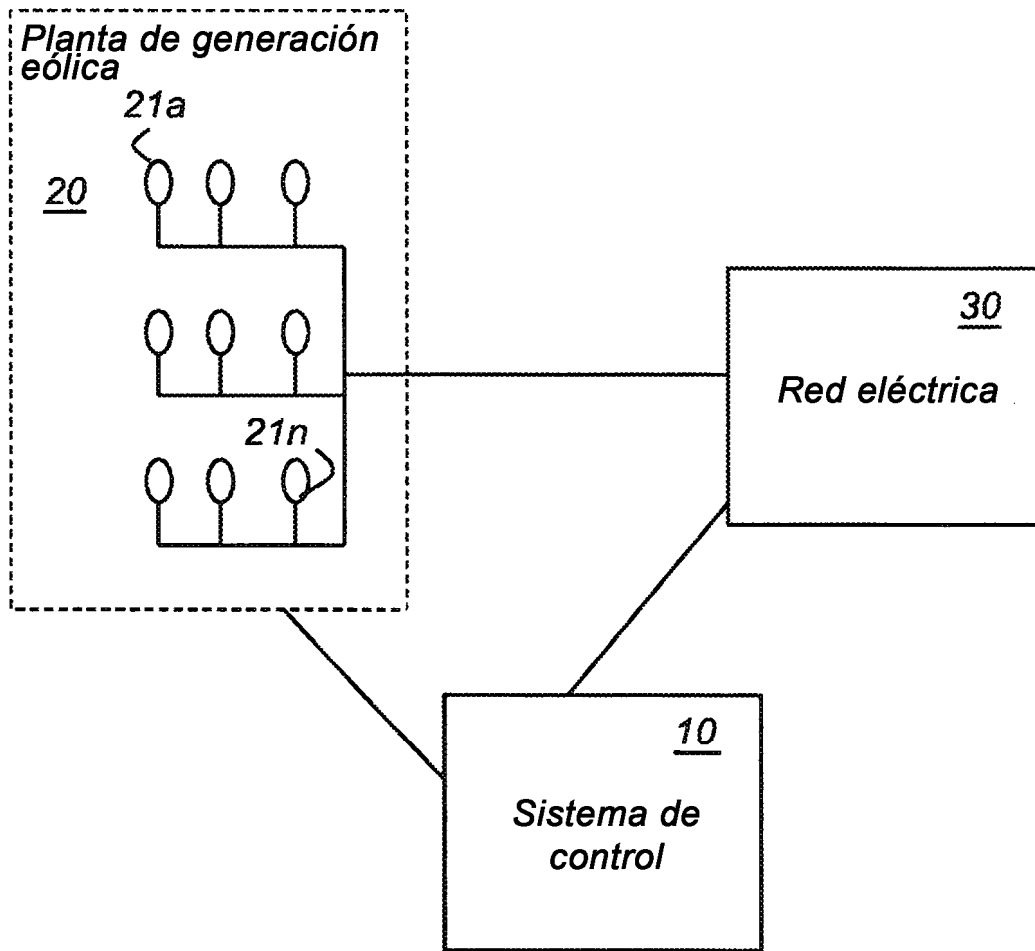
La invención se ha descrito principalmente anteriormente con referencia a unas pocas realizaciones. Sin embargo, se apreciará claramente por un experto en la materia, que son posibles igualmente otras realizaciones distintas a las divulgadas anteriormente dentro del alcance de la invención, tal como se define por las reivindicaciones de patente adjuntas.

- 5 Realizaciones generales:
- 10 A) Método como se ha descrito, en el que la variación requerida de la potencia suministrada por la planta de generación eólica se calcula adicionalmente usando un valor de la frecuencia detectada de la red eléctrica.
- 15 B) Método como se ha descrito, que comprende además:  
detectar una velocidad del viento incidente en la planta de generación eólica,  
y en el que la variable proporcional a la energía que reside en las masas de rotación de la planta de generación eólica es la velocidad del viento incidente detectada.
- 20 C) Método como se ha descrito, en el que la planta de generación eólica comprende además un dispositivo de almacenamiento de energía, y en el que el método comprende además la etapa de:  
calcular una variación requerida de la potencia suministrada/absorbida por el dispositivo de almacenamiento de energía basándose en la variación requerida calculada de la potencia suministrada por la planta de generación eólica; y  
control del dispositivo de almacenamiento de energía de acuerdo con su variación de potencia requerida.
- 25 D) Sistema como se ha descrito, en el que el segundo medio de cálculo se dispone para calcular una variación requerida de la potencia suministrada por la planta de generación eólica basándose en un valor de la inercia de la planta de generación eólica, la tasa de variación de frecuencia calculada y un valor de la frecuencia detectada de la red eléctrica.
- 30 E) Sistema como se ha descrito, que comprende además un detector para la detección de la velocidad del viento incidente en la planta de generación eólica, y en el que la variable proporcional a la energía que reside en las masas en rotación de la planta de generación eólica es la velocidad del viento incidente detectada por el detector.
- 35 F) Sistema como se ha descrito, en el que la planta de generación eólica comprende además un dispositivo de almacenamiento de energía, y en el que el tercer medio de cálculo se dispone adicionalmente para calcular una variación requerida de la potencia suministrada/absorbida por el dispositivo de almacenamiento de energía basándose en la variación requerida calculada de la potencia suministrada por la planta de generación eólica, y una unidad de control para el control del dispositivo de almacenamiento de energía de acuerdo con su variación de potencia requerida.

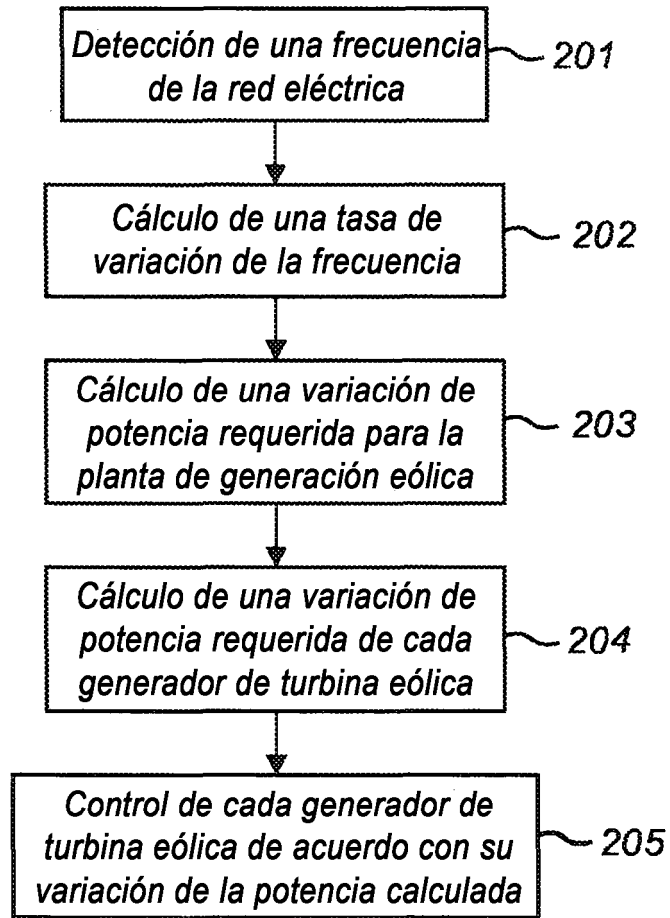
**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Método para controlar una planta de generación eólica (20) que comprende al menos un generador de turbina eólica (21a-21n), estando conectada la planta de generación eólica (20) a una red eléctrica (30) para suministrar potencia a la red eléctrica (30), comprendiendo el método:
- 10       detectar una frecuencia de la red eléctrica (201);  
       calcular una tasa de variación (202) en la frecuencia detectada de la red eléctrica (30);  
       calcular una variación requerida de la potencia suministrada (203) por la planta de generación eólica (20) basándose en un valor de la inercia de la planta de generación eólica (20) y la tasa de variación de frecuencia calculada;
- 15       estando el método caracterizado por que comprende:  
       calcular una variación requerida de la potencia suministrada (204) por cada generador de turbina eólica (21a-21n) de la planta de generación eólica (20) basándose en la variación requerida calculada de la potencia suministrada por la planta de generación eólica (20) y un nivel de potencia actual de cada generador de turbina eólica (21a-21n);  
       controlar cada generador de turbina eólica para suministrar potencia a la red eléctrica basándose en la variación requerida calculada de la potencia suministrada por cada generador de turbina eólica.
- 20 2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la variación requerida de la potencia suministrada por la planta de generación eólica (20) se calcula adicionalmente basándose en una variable proporcional a la energía que reside en las masas en rotación de la planta de generación eólica (20).
- 25 3. Método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la variable proporcional a la energía que reside en las masas en rotación de la planta de generación eólica (20) es la potencia total actual suministrada por la planta de generación eólica (20) a la red eléctrica (30).
- 30 4. Método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la variable proporcional a la energía que reside en las masas en rotación de la planta de generación eólica (30) es una velocidad de rotación actual de cada generador de turbina eólica (21a-21n), comprendiendo adicionalmente el método:
- detectar la velocidad de rotación actual de cada generador de turbina eólica (21a-21n).
- 35 5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, que comprende además la etapa de:
- si la frecuencia detectada está por debajo de un valor mínimo de umbral, calcular la tasa de variación de frecuencia mediante el uso del valor mínimo de umbral en lugar de la frecuencia detectada.
- 40 6. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5, que comprende además las etapas de:
- comparar la tasa de variación de frecuencia calculada con un valor de umbral, y  
       controlar cada generador de turbina eólica de acuerdo con el método solamente si la tasa de variación de frecuencia calculada excede el valor de umbral.
- 45 7. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6, que comprende además la etapa de controlar cada generador de turbina eólica (21a-21n) para suministrar potencia a la red (30) de acuerdo con su variación de potencia requerida calculada.
- 50 8. Un sistema para controlar una planta de generación eólica (20) que comprende al menos un generador de turbina eólica (21a-21n), estando la planta de generación eólica (20) conectada a una red eléctrica (30), comprendiendo el sistema:
- 55       una unidad de detección (301) para la detectar una frecuencia de la red eléctrica (20);  
       un primer medio de cálculo (302) para calcular la tasa de variación en la frecuencia detectada de la red eléctrica (30);  
       un segundo medio de cálculo (303) para calcular una variación requerida de la potencia suministrada por la planta de generación eólica (20) basándose en un valor de la inercia de la planta de generación eólica (20) y la tasa de variación de frecuencia calculada; estando el sistema caracterizado por que comprende:
- 60       un tercer medio de cálculo (304) para calcular una variación requerida de la potencia suministrada por cada generador de turbina eólica (21a-21n) de la planta de generación eólica (20) basándose en la variación requerida calculada de la potencia suministrada por la planta de generación eólica (20) y un nivel de potencia actual de cada generador de turbina eólica (21a-21n),  
       una unidad de control, para controlar cada generador de turbina eólica para el suministro de la potencia a la red eléctrica basado en la variación requerida calculada de la potencia suministrada por cada generador de turbina eólica.
- 65

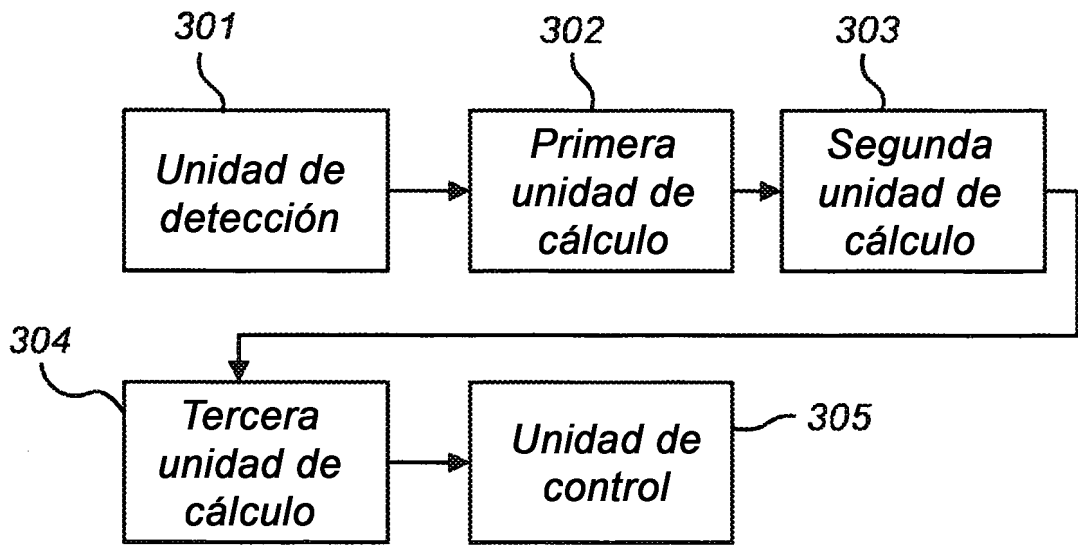
- 5 9. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el segundo medio de cálculo (303) está dispuesto para calcular una variación requerida de la potencia suministrada por la planta de generación eólica (20) basado en un valor de la inercia de la planta de generación eólica (20), la tasa de variación de frecuencia calculada y una variable proporcional a la energía que reside en las masas en rotación de la planta de generación eólica (20).
- 10 10. Sistema de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la variable proporcional a la energía que reside en las masas en rotación de la planta de generación eólica (20) es la potencia total actual suministrada por la planta de generación eólica (20) a la red eléctrica (30).
- 10 11. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-10, que comprende además una unidad de comparación para comparar la tasa de variación de frecuencia calculada con un valor de umbral y el filtrado de las tasas de variación de frecuencia por debajo del valor de umbral.
- 15 12. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-11, en el que el sistema comprende una primera sección de cálculo (410) para calcular la tasa de variación en la frecuencia detectada de la red eléctrica (30) para variaciones positivas de frecuencia y una segunda sección de cálculo (420) para calcular la tasa de variación en la frecuencia detectada de la red eléctrica (30) para variaciones negativas de frecuencias.
- 20 13. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-12, que comprende además una unidad de control (305) para controlar cada generador de turbina eólica (21a-21n) para suministrar potencia a la red (30) de acuerdo con su variación de potencia requerida calculada.
- 25 14. Un producto de programa informático para llevar a cabo el método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7 en el que dicho producto de programa informático se ejecuta en un ordenador.
15. Un transportador de datos que comprende un producto de programa informático para llevar a cabo el método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7 cuando dicho producto de programa informático se ejecuta en un ordenador.



*Fig. 1*



*Fig. 2*



*Fig. 3*

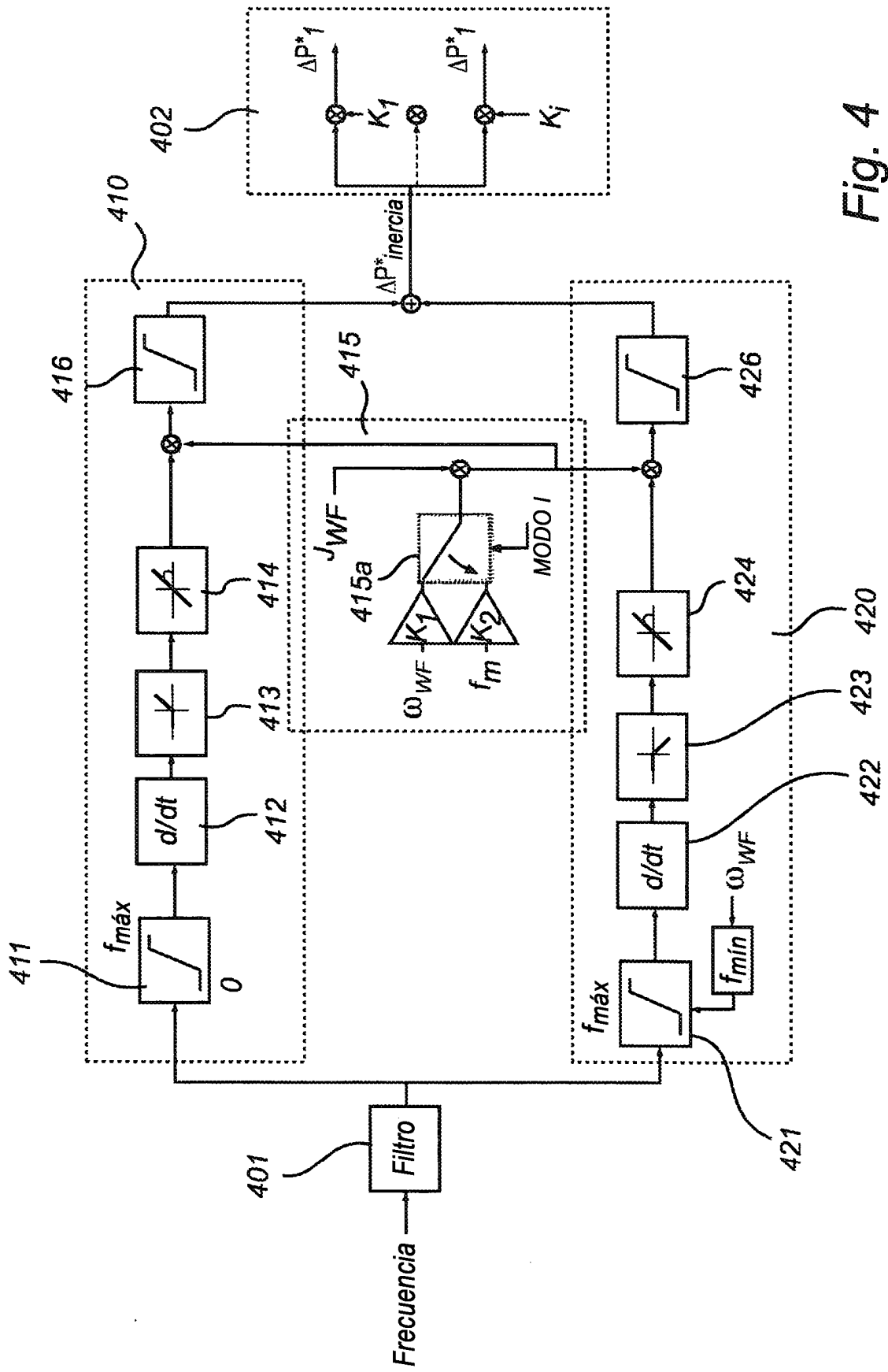


Fig. 4



