

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 528 595**

51 Int. Cl.:

H02P 9/04 (2006.01)
F03D 7/02 (2006.01)
F03D 7/04 (2006.01)
F03D 9/00 (2006.01)
G05F 1/67 (2006.01)
H02J 3/04 (2006.01)
H02J 3/06 (2006.01)
H02J 3/38 (2006.01)
H02P 9/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.03.2009 E 09779128 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.12.2014 EP 2384540**

54 Título: **Inercia frecuencial de sistema de potencia para sistema de generación eléctrica**

30 Prioridad:

30.01.2009 EP 09001339

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

10.02.2015

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

THISTED, JAN

74 Agente/Representante:

PÉREZ BARQUÍN, Eliana

ES 2 528 595 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).

INERCIA FRECUENCIAL DE SISTEMA DE POTENCIA PARA SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA**DESCRIPCIÓN****5 Antecedentes de la invención**

La invención se refiere de manera general al campo de las unidades de generación eléctrica usadas para la generación eléctrica para redes eléctricas de servicio público, y más particularmente a técnicas para garantizar la adecuación a la red eléctrica de unidades de generación eléctrica, incluyendo estabilizar la potencia durante condiciones transitorias.

Un número cada vez mayor de unidades de generación eléctrica tales como turbinas eólicas, células solares, células de combustible, sistemas de energía undimotriz o similares se conectan a la red eléctrica de servicio público. La necesidad de un soporte de frecuencia para la red eléctrica de servicio público se hace mayor a medida que las centrales eléctricas convencionales que comprenden grandes generadores síncronos se sustituyen por unidades de generación eléctrica tales como turbinas eólicas. Las unidades de generación eléctrica se conectan a la red eléctrica de servicio público usando electrónica de potencia, y el enlace directo entre potencia y frecuencia se pierde, por lo que las perturbaciones en la red eléctrica pueden dar como resultado mayores desviaciones de frecuencia. A continuación se usa el reto para una turbina eólica para describir los antecedentes de la invención. Sin embargo, los retos son similares para otros tipos de unidades de generación eléctrica tales como una célula solar, célula de combustible, microturbina, energía undimotriz o similares en las que la interconexión entre la red eléctrica de servicio público y la unidad de generación eléctrica está basada en un convertidor de potencia.

Un generador de turbina eólica incluye de manera general un rotor eólico que convierte la energía eólica en movimiento giratorio de un árbol de la turbina, que a su vez acciona el rotor de un generador eléctrico para producir potencia eléctrica. Las instalaciones de generadores de turbinas eólicas modernas normalmente adoptan la forma de un parque eólico que tiene múltiples generadores de turbinas eólicas conectados a una red de potencia de parque eólico común. Esta red eléctrica de parque eólico se conecta a una red eléctrica de servicio público, o bien directamente o bien a través de una subestación que puede incluir un transformador de elevación.

Es necesario que las turbinas eólicas individuales y los parques eólicos cumplan con los requisitos de calidad del suministro del operador del sistema público de distribución. Tales requisitos de calidad del suministro, a menudo denominados "requisitos de la red eléctrica" pueden incluir normalmente regulación de tensión, regulación de frecuencia, control de potencia activa y reactiva, funcionamiento ante huecos de tensión en la red (*fault ride-through*), y en algunos casos también elevación de potencia y la provisión de inercia o reserva de potencia en caso de condiciones transitorias provocadas por un fallo repentino de generación, fallo en la línea o conexión de aplicación rápida de grandes cargas.

Desde un punto de vista funcional sería preferible que los generadores de turbinas eólicas incorporasen generadores síncronos clásicos con las mismas capacidades de regulación que los generadores síncronos aplicados en grandes centrales hidroeléctricas o térmicas. Tales generadores síncronos clásicos pueden regular la tensión, potencia activa y reactiva, etc. En condiciones transitorias, los generadores síncronos también pueden proporcionar servicios de control adicionales que modulan la potencia activa para estabilizar el sistema de potencia y restablecer la frecuencia a su valor nominal.

Sin embargo, los generadores síncronos clásicos no son muy adecuados para su uso en turbinas eólicas, puesto que sus características muy rígidas no son compatibles con aplicaciones de turbinas eólicas. Para aproximar las capacidades y el funcionamiento de los generadores síncronos, los generadores de turbinas eólicas modernos usan normalmente inversores electrónicos de potencia para interconectar la salida del generador de turbina eólica con la red eléctrica de servicio público. En un enfoque común la salida del generador de turbina eólica se alimenta directamente a un convertidor electrónico de potencia, en el que se rectifica la frecuencia de la turbina y se invierte para dar una frecuencia fija como según sea necesario para el sistema público de distribución. Un enfoque alternativo usa un generador asíncrono doblemente alimentado (DFAG) con un inversor electrónico de potencia de frecuencia variable que excita los devanados de rotor y estator del DFAG que se acoplan directamente al sistema público de distribución.

Tradicionalmente, los generadores de turbinas eólicas se han configurado para responder a los requisitos de la red eléctrica a través del uso de una combinación de dispositivos de medición de la red eléctrica, señales del servicio público y referencias de respuesta y algoritmos internos al controlador de la turbina, tal como se describe, por ejemplo, en los documentos GB2330256, EP1790850 y US4400659.

Esta disposición tiene varios inconvenientes. En primer lugar, la respuesta del generador de turbina eólica a los requisitos de la red eléctrica generalmente se convierte en una caja negra visto desde la perspectiva del operador del sistema. En segundo lugar, pueden producirse elementos de respuesta retroalimentada cuando el sistema de generador de turbina eólica regula en respuesta a artefactos autogenerados. Además, en la configuración normal las turbinas eólicas no contribuyen a la estabilización de frecuencia del sistema público de distribución.

El propósito de la invención es superar las limitaciones mencionadas anteriormente para unidades de generación eléctrica y proporcionar técnicas de control de modo que la unidad de generación eléctrica pueda satisfacer los requisitos de la red eléctrica de un modo transparente para los operadores del sistema, incluyendo contribuir a la regulación de frecuencia y estabilización de oscilaciones de potencia para el sistema público de distribución.

Descripción de la invención

La invención está definida por las características del dispositivo de la reivindicación 1 y el método de la reivindicación 13. Las reivindicaciones dependientes indican realizaciones ventajosas de la invención.

Una realización a modo de ejemplo de la invención incluye un sistema de generación eléctrica que comprende al menos una unidad de generación eléctrica que puede hacerse funcionar para suministrar potencia eléctrica a un sistema público de distribución y al menos una máquina síncrona que se hace funcionar en paralelo a la unidad de generación eléctrica. La unidad de generación eléctrica se interconecta con el sistema público de distribución usando un convertidor de potencia.

Un dispositivo de medición de la red eléctrica está ubicado entre la máquina síncrona y la red eléctrica para medir la corriente y la potencia intercambiada entre el generador síncrono y la red eléctrica. La salida del dispositivo de medición de la red eléctrica se transmite por medios de comunicación a un controlador que está dispuesto para ajustar la potencia de salida de la unidad de generación eléctrica en función de la potencia y la corriente que mide el dispositivo de medición de la red eléctrica. En una realización de la invención el controlador es una parte integrada de un controlador interno para la unidad de generación eléctrica tal como un controlador interno de turbina eólica o similar. En otra realización el controlador es un controlador externo que usa medios de comunicación entre el controlador y la unidad de generación eléctrica. La unidad de generación eléctrica está configurada para proporcionar corriente y potencia al sistema público de distribución en función de la salida del dispositivo de medición de la red eléctrica y de este modo contribuir a la estabilización de la frecuencia de la red eléctrica en caso de desequilibrio.

En una realización preferida de la invención la unidad de generación eléctrica es de uno de los siguientes tipos: un generador de turbina eólica, una célula solar, célula de combustible, microturbina, de energía undimotriz u otras unidades de generación eléctrica que tienen una interconexión por convertidor de potencia a la red eléctrica.

En una realización preferida de la invención el sistema de generación eléctrica comprende varias unidades de generación eléctrica que funcionan en paralelo tal como turbinas eólicas en un parque eólico. En una realización adicional el sistema de generación eléctrica comprende varias máquinas síncronas que funcionan en paralelo con las unidades de generación eléctrica para soporte de la red eléctrica.

La presente invención combina las ventajas de la respuesta inercial inherente del generador síncrono con la posibilidad de controlar la potencia de salida desde la unidad de generación eléctrica tal como una turbina eólica. La unidad de generación eléctrica está configurada para proporcionar corriente y potencia al sistema público de distribución en función del flujo de potencia y corriente que se intercambia entre el generador síncrono y la red eléctrica. El flujo de potencia y corriente que se intercambia entre el generador síncrono y la red eléctrica se ve afectado durante condiciones dinámicas tales como desequilibrios de carga. La medición del flujo de potencia y corriente va en proporción al desequilibrio de la red eléctrica, y de este modo se usa la medición para ajustar la potencia de salida de la unidad de generación eléctrica para la estabilización en respuesta al desequilibrio de la red eléctrica de servicio público.

La disposición combina la respuesta inercial inherente de la máquina síncrona con la posibilidad de aumentar o disminuir la potencia de salida de la unidad de generación eléctrica para una rápida estabilización y restablecimiento de la frecuencia de la red eléctrica. La respuesta inercial de la máquina síncrona contribuye de manera continua a la estabilización de la red eléctrica y no se necesita ninguna acción de control para proporcionar respuesta inercial en una fase inicial de una perturbación de la red eléctrica. Además, la respuesta inercial del generador síncrono impide que se realice una acción de control excesiva para la unidad de generación eléctrica en caso de una perturbación de frecuencia menor en la red eléctrica de servicio público. La fase inicial de una perturbación de frecuencia va seguida inmediatamente del ajuste de la potencia de salida de la unidad de generación eléctrica usando las mediciones de potencia y corriente del dispositivo de mediciones de la red eléctrica. La potencia de salida de la unidad de generación eléctrica puede cambiarse muy rápido, y de este modo es posible dar soporte a la red eléctrica de una manera eficaz y controlada y en proporción al desequilibrio. La combinación de la máquina síncrona y la potencia de salida de la turbina también proporciona una respuesta rápida a una desviación de la frecuencia de la red eléctrica.

Por ejemplo, una cantidad relativamente grande de energía cinética se almacena en el rotor de una turbina eólica que puede transformarse en potencia eléctrica durante una perturbación de la red eléctrica. La constante de inercia H para una turbina eólica se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$H = \left(\frac{1}{2} J \omega^2 \right) / (\text{MW de régimen}) s$$

Una constante típica puede estar en el intervalo de 5 a 10 segundos. La constante de inercia expresa la energía cinética que se almacena en el sistema de rotor a una velocidad de rotor nominal. Para un sistema de rotor con $H = 7$ el rotor puede almacenar una energía cinética igual a la potencia de régimen nominal durante 7 segundos. Esto se encuentra en el intervalo de 1-2 veces la energía que se almacena en un generador síncrono típico para centrales eléctricas térmicas. De este modo, la respuesta inercial del generador síncrono y el uso controlable de la energía cinética en el rotor se combinan para proporcionar una estabilización muy eficaz y rápida de la frecuencia de la red eléctrica. Además, también se consigue un restablecimiento más rápido de la frecuencia de la red eléctrica.

Debido al uso del generador síncrono es posible proporcionar una respuesta inercial incluso en situaciones en las que es imposible aumentar o disminuir la potencia de salida de la turbina eólica. Por ejemplo en escenarios de poco viento en los que la turbina eólica gira a un límite de velocidad inferior o en situaciones de mucho viento en las que la turbina eólica proporciona una potencia máxima.

Las variaciones de frecuencia son a menudo breves y la respuesta inercial normalmente tiene una breve duración de desde 3 ciclos de potencia hasta 10 s. Una unidad de generación eléctrica tal como una turbina eólica puede estar configurada para proporcionar más potencia que la de régimen durante un breve periodo de tiempo, y de este modo la unidad de generación eléctrica puede usarse para proporcionar potencia a la red eléctrica cuando se produce potencia de régimen antes y durante una caída de la frecuencia.

La máquina síncrona se hace funcionar preferiblemente en una condición sin carga/en vacío en la que el único flujo de potencia entre la máquina síncrona y la red eléctrica, en una condición de estado estacionario, se debe a las pérdidas en el generador tal como por fricción, etc. En otra realización de la invención se usa generación de potencia activa y un sistema de control de generador motriz para la estabilización de oscilaciones de potencia. La invención permite elegir el tamaño de la máquina síncrona para satisfacer los requisitos locales para la estabilización de frecuencia. De este modo la invención proporciona una solución para diseñar un sistema de generación eléctrica con una estabilización de frecuencia eficaz, que corresponde a la respuesta inercial de una central hidroeléctrica o térmica convencional. De este modo, resulta muy atractivo para las empresas de servicio público sustituir las centrales eléctricas convencionales por un sistema de generación eléctrica tal como un sistema de energía eólica o similar. Las empresas de servicio público han dudado hasta ahora acerca de sustituir las centrales eléctricas convencionales debido a la falta de respuesta inercial y al reducido soporte de frecuencia. Además, la máquina síncrona proporciona una regulación de tensión dinámica para la red eléctrica, que es importante para el control de carga de largos cables submarinos de CA en parques eólicos en alta mar.

El comportamiento del sistema de generación eléctrica se hace mucho más transparente para los operadores del sistema en comparación con los sistemas en los que la estabilización de frecuencia se basa en el control únicamente de convertidores de potencia.

En una realización de la invención una micromáquina síncrona con una inercia relativamente alta está conectada al sistema de potencia. La máquina síncrona gira sin ninguna carga mecánica y se aplica un transductor de potencia activa como dispositivo de medición de la red eléctrica para la detección de la tasa de cambio de la frecuencia. La señal procedente del transductor de potencia activa se usa como compensación para las pérdidas de potencia activa y de este modo la señal representa la tasa de cambio de la frecuencia. La señal se aplica con fines de control para que los sistemas convertidores de potencia contrarresten la tasa de cambio de la frecuencia en frecuencias del sistema de potencia.

La máquina síncrona puede instalarse en o cerca de una subestación de un parque eólico. La máquina síncrona puede instalarse o bien en alta mar o bien en tierra cuando funciona en paralelo con una o más turbinas eólicas instaladas en alta mar.

En una realización de la invención la máquina síncrona se hace funcionar sustancialmente de manera similar al funcionamiento de los generadores síncronos aplicados en grandes centrales hidroeléctricas o térmicas. La estrategia de control del funcionamiento de la máquina síncrona puede comprender control de frecuencia, control de amortiguación de oscilaciones de potencia, control de tensión o control de potencia reactiva.

En una realización preferida de la invención la salida del dispositivo de medición de la red eléctrica comprende una señal de medición que va en proporción al flujo de potencia y corriente que se intercambia entre la máquina síncrona y la red eléctrica de servicio público. La señal de medición se usa para aumentar o disminuir la potencia de salida de la unidad de generación eléctrica para estabilizar el sistema público de distribución global. La señal de medición es cero cuando la máquina síncrona se encuentra en una condición de estado estacionario por ejemplo cuando la frecuencia y tensión del sistema público de distribución está dentro de los límites de control durante condiciones de estado estacionario. En condiciones transitorias, si la frecuencia del sistema disminuye, la máquina síncrona lo contrarresta transformando energía cinética giratoria en potencia eléctrica, que entonces se entrega al sistema

público de distribución. La señal de medición se usa de este modo para aumentar la potencia de salida de la unidad de generación eléctrica para potenciar un funcionamiento estable. De manera similar, cuando la frecuencia del sistema aumenta la máquina síncrona consume potencia y corriente para aumentar la velocidad, y entonces se usa la señal de medición para disminuir la potencia de salida de las turbinas para potenciar un funcionamiento estable del sistema público de distribución.

En una realización preferida la señal de medición procedente del dispositivo de medición de la red eléctrica se transmite por medios de comunicación a un controlador que está dispuesto para ajustar la referencia de potencia de una unidad de generación eléctrica tal como un convertidor de turbina eólica. La señal de medición procedente del dispositivo de medición de la red eléctrica puede ser continua o discreta y puede implementarse como una función de bucle cerrado o abierto, sujeta a determinados límites del sistema. Los medios de comunicación entre el dispositivo de medición de la red eléctrica y el controlador pueden estar basados en infraestructura por cable o inalámbrica.

En una realización de la invención el controlador es una parte integrada de un controlador de turbina eólica de la turbina eólica. Sin embargo, el controlador también puede ser un controlador externo que forme parte de un controlador de supervisión para ajustar la potencia de salida de una o más unidades de generación eléctrica tales como turbinas eólicas que están ubicadas en un parque eólico, y de este modo se usan los medios de comunicación para la comunicación entre el controlador y la turbina.

En una realización adicional de la invención el controlador usa una técnica de control que aumenta o disminuye la salida de potencia en función de varias entradas del dispositivo de medición de la red eléctrica. En una realización las señales de entrada comprenden 1) una señal de referencia de potencia procedente de un controlador dedicado para la unidad de generación eléctrica, 2) la señal de medición procedente del dispositivo de medición de la red eléctrica y 3) una señal de referencia de potencia externa, que se usa como señal de referencia de potencia para el controlador para estabilizar y restablecer la frecuencia de la red eléctrica a frecuencia nominal, por ejemplo 50 ó 60 Hz. Por tanto, el controlador está configurado para modular el flujo de potencia a través del convertidor de la unidad de generación eléctrica en respuesta a perturbaciones de frecuencia u oscilaciones de potencia del sistema público de distribución.

En otra realización de la invención el controlador está configurado para proporcionar un señal de control de paso de pala o una señal de control de velocidad de la turbina de una turbina eólica en respuesta a las perturbaciones de frecuencia u oscilaciones de potencia del sistema público de distribución en función de la respuesta de la máquina síncrona al sistema público de distribución. La señal de entrada para el controlador también puede comprender una señal de potencia o par motor que es función de la respuesta de máquinas síncronas al sistema público de distribución.

En una realización a modo de ejemplo se emplea adicionalmente una función de límite en el controlador para la limitación física en el sistema de generación eléctrica, tal como un límite de potencia, un límite de par motor, un límite de corriente, un límite de energía o un límite de velocidad, etc. Los límites son útiles para garantizar que el funcionamiento de la unidad de generación eléctrica se mantiene dentro del límite de diseño del sistema mecánico, eléctrico y/o químico.

En una realización preferida de la invención el dispositivo de medición de la red eléctrica está ubicado cerca de los terminales de la máquina síncrona para medir el flujo de corriente y potencia intercambiado entre la red eléctrica y la máquina síncrona. Un filtro de red eléctrica puede disponerse entre la red eléctrica y el dispositivo de medición de la red eléctrica para reducir el ruido eléctrico tal como los armónicos de convertidores de potencia, etc. El filtro de red eléctrica comprende varios elementos de filtro que aíslan de manera eficaz el dispositivo de medición de red eléctrica de medir cualquier retroalimentación procedente de otros elementos en el sistema público de distribución, por ejemplo de un convertidor de turbina eólica. El filtro de red eléctrica permite que la forma de onda de tensión y frecuencia fundamental del sistema público de distribución pase del sistema público de distribución al generador síncrono para garantizar el soporte de la red eléctrica durante incidentes en la red eléctrica y para evitar que se realice una acción de control excesiva debido al ruido.

En una realización de la invención el árbol principal de la máquina síncrona está acoplado a un motor tal como un motor diésel, un motor eléctrico o similar. Puede usarse un pequeño motor de arranque para la sincronización de la máquina síncrona durante el arranque. Puede usarse un generador motriz con fines de prueba y simulación para un sistema de generación eléctrica tal como un sistema de energía eólica. En una realización adicional de la invención se usa una combinación de un generador motriz, generación de potencia activa y un control de estabilizador de sistema de potencia para la estabilización de oscilaciones de potencia.

En otra realización de la invención la máquina síncrona está conectada a un controlador para usar la máquina síncrona para la generación o absorción de potencia reactiva, y de este modo proporcionar la posibilidad de un soporte de red eléctrica mejorado.

En otra realización de la invención el sistema de generación eléctrica comprende un elemento de almacenamiento

de energía, un elemento consumidor de energía o combinaciones de los mismos, en el que el elemento de almacenamiento de energía, el elemento consumidor de energía o las combinaciones de los mismos están acoplados a un convertidor.

5 En una realización preferida de la invención la máquina síncrona está dispuesta como un generador síncrono.

Figuras

A continuación se describirá la invención con referencia a las figuras en las que

10 La figura 1 muestra una realización de la invención que comprende una turbina eólica en conexión con un generador síncrono.

15 La figura 2 muestra una ilustración esquemática del controlador.

La figura 3 es una representación esquemática de un parque eólico que comprende un generador síncrono y medios de control para estabilizar la potencia y frecuencia en la red eléctrica de servicio público.

Descripción detallada

20 En lo sucesivo se usa un sistema de turbina eólica como ejemplo de un sistema de generación eléctrica y se usa una turbina eólica como ejemplo de una unidad de generación eléctrica. En otras realizaciones de la invención la unidad de generación eléctrica es una célula solar, célula de combustible, microturbina, energía undimotriz o unidades de generación eléctrica que comprenden una interconexión del convertidor de potencia a la red eléctrica.

25 Haciendo referencia de manera general a la figura 1, se proporciona un sistema 1 de turbina eólica que puede hacerse funcionar para generar potencia eléctrica. El sistema 1 de turbina eólica comprende un buje 4 que tiene múltiples palas 6. Las palas 6 convierten la energía mecánica del viento en un par motor giratorio, que se convierte además en energía eléctrica mediante el sistema 1 de turbina eólica. El sistema 1 de turbina eólica incluye además una parte 2 de turbina que puede hacerse funcionar para convertir la energía mecánica del viento en un par motor giratorio y un generador 18 que puede hacerse funcionar para convertir el par motor giratorio producido por la parte 2 de turbina en potencia eléctrica. Se proporciona un tren 9 de accionamiento para acoplar la parte 2 de turbina al generador 18. El generador 18 de turbina eólica comprende normalmente un generador para su uso con un convertidor de plena potencia. En una realización de conversión de plena potencia, los devanados del estator del generador de turbina eólica se alimentan directamente al convertidor.

35 La parte 2 de turbina incluye un árbol 8 de baja velocidad de rotor de turbina que está acoplado al buje 4. Se transmite un par motor giratorio desde el árbol 8 de baja velocidad de rotor a un árbol 16 de generador por medio del tren 9 de accionamiento. En determinadas realizaciones, tales como la realización ilustrada en la figura 1, el tren 9 de accionamiento incluye una caja 10 de engranajes que transmite par motor de un árbol 12 de baja velocidad a un árbol 12 de alta velocidad. El árbol 12 de alta velocidad se acopla al árbol 16 de generador con un elemento 14 de acoplamiento.

40 En otras realizaciones, cuando el tren de accionamiento no incluye caja de engranajes alguna, el árbol de baja velocidad transmite par motor directamente a un generador multipolar de accionamiento directo, de baja velocidad.

45 Debido a que la velocidad del árbol 8 de baja velocidad de rotor de turbina fluctúa, la frecuencia de la salida del generador 18 también varía. En una implementación de la realización anterior, la capacidad de sobrecarga transitoria de los sistemas eléctrico y mecánico de turbina eólica a plena carga se utiliza disminuyendo el paso de pala y/o la velocidad de turbina para aumentar gradualmente la potencia. El grado y la duración de esta sobrecarga se gestionan de tal manera que se evita una tensión indebida sobre los componentes de los sistemas eléctrico y mecánico.

50 En una realización a modo de ejemplo, el generador 18 está acoplado a controles 22 de turbina eólica. Los controles 22 de turbina eólica reciben señales 20 procedentes del generador que representan los parámetros de funcionamiento del generador. Los controles 22 de turbina eólica pueden generar en respuesta señales de control, por ejemplo una señal 24 de paso para cambiar el paso de las palas 6.

55 Los controles 22 de turbina eólica también están acoplados a un convertidor 34. La entrada 48 procedente de los controles 44 de turbina eólica se suministra como entrada 48 al controlador 30. La entrada 26 procedente del controlador 30 se suministra al convertidor 34. El convertidor 34 normalmente incluye componentes de electrónica de potencia para convertir la salida 36 de frecuencia variable del generador 18 en una salida 37 de frecuencia fija para su suministro a un sistema público de distribución o a una red 62 de energía eléctrica. Los controles 22 de turbina eólica, el controlador 30 y el convertidor 34 se describen en más detalle con referencia a la figura 2.

60 El controlador 30 está configurado para modular el flujo de potencia a través del convertidor 34. El controlador 30

recibe datos de la red eléctrica desde un dispositivo 52 de medición de red eléctrica GMD2. El dispositivo de medición de red eléctrica mide datos de la red eléctrica, tal como potencia y corriente en los terminales de salida de un generador 48 síncrono. La señal 56 de medición se transmite al controlador 30 por medios de comunicación. La señal 56 de medición puede representar los parámetros de control del generador síncrono, por ejemplo frecuencia o potencia incluyendo la respuesta a perturbaciones de frecuencia u oscilaciones de potencia del sistema público de distribución.

Los controles 42 de generador síncrono suministran una señal 44 de entrada de referencia de potencia para el controlador 30. En una realización de la invención los controles de generador síncrono se usan para garantizar la estabilización y el restablecimiento de la frecuencia de la red eléctrica. Un dispositivo 38 de medición de la red eléctrica (GMD1) está conectado al generador síncrono para medir la potencia de salida y respuesta de las turbinas eólicas con fines de control. El control 42 de generador síncrono está conectado al generador 48 síncrono para controlar el generador 48. El generador 48 síncrono se hace funcionar sustancialmente de manera similar al funcionamiento de los generadores síncronos aplicados en grandes centrales hidroeléctricas o térmicas.

El generador 48 síncrono está conectado a la red eléctrica por medio de un filtro 58 de red eléctrica. El filtro 58 de red eléctrica puede comprender elementos de filtro que aíslan de manera eficaz el dispositivo 52 de medición de red eléctrica de medir cualquier retroalimentación procedente de otros elementos en el sistema 62 público de distribución, por ejemplo del convertidor 34. El filtro 58 de red eléctrica puede permitir que la forma de onda de tensión y frecuencia fundamental del sistema público de distribución pase del sistema 62 público de distribución al generador 48 síncrono para garantizar una respuesta inercial a una perturbación de frecuencia en el sistema público de distribución.

La figura 2 es una ilustración esquemática de un bucle de control a modo de ejemplo empleado en el controlador 100. El controlador 100 proporciona una señal 116 de entrada al convertidor (mostrado en la figura 1), señal de entrada que puede comprender una señal de potencia o par motor y se indica de manera general mediante el número de referencia 116 y el símbolo P. Puede observarse que potencia y par motor se usan de manera intercambiable en la descripción en el presente documento. Como se comentará en más detalle a continuación, la señal P de entrada es normalmente una función de la señal 110 de demanda de P procedente de los controles de turbina eólica y la señal 104 de medición que se mide en el dispositivo de medición de red eléctrica (mostrado en la figura 1).

La señal 104 medida representa la respuesta de potencia activa medida en los terminales de salida del generador síncrono. La señal indicada mediante la referencia 08 y el símbolo ΔP se multiplica por un factor de multiplicación que representa la relación en potencia de régimen entre el generador de turbina eólica y el generador síncrono. Se espera que la señal 104 de medición conduzca a un aumento o disminución en salida de potencia del sistema de turbina eólica para estabilizar el sistema público de distribución global. La diferencia entre la señal 104 y la señal 102 es cero cuando el generador síncrono se encuentra en una condición de estado estacionario por ejemplo cuando la frecuencia y tensión del sistema público de distribución están dentro de los límites de control durante la condición de estado estacionario.

En condiciones transitorias, si la frecuencia del sistema disminuye entonces se necesita aumentar la señal 108 en sentido positivo para potenciar un funcionamiento estable. De manera similar, si la frecuencia del sistema aumenta entonces se necesita aumentar la señal 108 en sentido negativo para potenciar el funcionamiento estable del sistema público de distribución. Además, la señal 108 de entrada complementaria puede ser continua o discreta y puede implementarse como una función de bucle cerrado o abierto, sujeta a ciertos límites del sistema tal como se comentará a continuación.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 2, también puede proporcionarse una señal 110 de demanda de par motor o potencia procedente de los controles de turbina eólica como entrada al controlador 100. La señal 108 y la señal 110 de comando pueden sumarse en el elemento 109 de suma. El convertidor normalmente incluye un controlador de convertidor local (mostrado en la figura 1) para convertir las entradas en órdenes de señal de conmutación del convertidor.

El controlador 100, tal como se describió anteriormente, usa una técnica de control que aumenta o disminuye gradualmente la salida de potencia en función de la señal 110 de entrada procedente de los controles de turbina eólica y la señal 104 de entrada, que representa el flujo de potencia del generador síncrono al sistema público de distribución (no mostrado). La señal 108 de ΔP al punto 109 de suma representa la compensación de potencia que se añade a la señal 110 de entrada procedente de los controles de turbina eólica. En la rutina 106 de cálculo de ΔP , la señal 104 de entrada que se mide en el dispositivo de medición de red eléctrica se compara con la referencia de potencia, la señal 102 de entrada, procedente de los controles de generador síncrono. ΔP se calcula como la diferencia entre la señal 102 de entrada y la señal 104 de entrada. La diferencia calculada se multiplica por un factor de multiplicación que representa la relación entre la potencia de régimen del generador de turbina eólica y la potencia de régimen del generador síncrono. Por tanto, el controlador 100 está configurado para modular el flujo de potencia a través del convertidor en respuesta a perturbaciones de frecuencia del sistema público de distribución.

En una realización a modo de ejemplo, adicionalmente se emplea una función 114 de límite para limitar la señal 112 de potencia o par motor. Aunque se ilustra un único bloque 114 a modo de ejemplo, si se desea, pueden usarse una o más funciones o controladores para implementar la función 114 de límite.

5 Los límites son útiles porque, cuando el generador de turbina eólica funciona a o cerca de la salida de potencia de régimen, entonces un aumento de potencia tenderá a sobrecargar el generador y convertidor. Los límites usados por la función 114 de límite pueden ser límites absolutos, límites dependientes del tiempo, o combinaciones de los mismos. Algunos ejemplos no limitativos de los límites usados por la función 114 de límite incluyen limitaciones físicas en el sistema de turbina eólica, límites de potencia, límites de par motor, límites de tasa de rampa, límites de energía y límites de velocidad del rotor del generador de turbina eólica. Los ejemplos de límites físicos incluyen la capacidad térmica del equipo de conversión de potencia, límites de corriente del convertidor y tensión mecánica del árbol de accionamiento. Los ejemplos de límites de energía incluyen límites de almacenamiento de energía y de energía de disipación.

15 Además puede haber límites superiores y límites inferiores específicos para la estabilidad del sistema. Un límite superior usado por la función 114 de límite es normalmente una función de uno o más de los siguientes: condiciones térmicas del convertidor, historial de carga, tiempo e incluso temperatura ambiente. El límite inferior tenderá a ser simétrico comparado con el límite superior, aunque no es necesario. Además la función de límite puede ser un límite en la salida de un bloque de control, o un límite o banda inactiva en la entrada a un bloque de control. El límite de banda inactiva es un tipo de límite en el que por encima de alguna banda alrededor de cero no se produce acción alguna y más allá de un umbral se requiere una acción para adaptarse al límite.

25 Como ejemplo específico, puesto que el equilibrio energético total en la turbina eólica dicta la velocidad del tren de accionamiento, puede usarse el equilibrio energético para determinar los límites tal como se comenta en el presente documento. La potencia extraída de la turbina, más allá de la suministrada por el par motor inducido por el viento, ralentizará la máquina. La energía total extraída es la integral de esta diferencia de potencia. También, la turbina tiene un límite inferior de velocidad, por debajo del cual se produce una pérdida aerodinámica. Por tanto, la energía total extraída también debe limitarse, de modo que se mantenga una velocidad mínima, con algo de margen. En un ejemplo, puede usarse un límite dinámico que es función de la energía extraída para tratar este aspecto.

30 Los expertos en la técnica apreciarán rápidamente que la técnica de control descrita en el presente documento también puede utilizarse en un sistema para la gestión de un parque eólico. Tal sistema 200 de gestión de parque eólico se muestra como realización a modo de ejemplo en la figura 3. El sistema 200 de gestión de parque eólico incluye un parque 210 eólico que tiene turbinas 212, 214 y 216 eólicas que pueden hacerse funcionar para suministrar potencia eléctrica a un sistema 218 público de distribución. Los expertos en la técnica apreciarán que se muestran tres turbinas eólicas únicamente por motivos de ilustración, y que el número puede ser mayor basándose en la naturaleza geográfica y los requisitos de potencia de cualquier región en particular.

40 Las turbinas 212, 214, 216 eólicas incluyen rotores 220, 222, 224 de turbina, teniendo cada rotor múltiples palas, que accionan los rotores 220, 222, 224 respectivamente para producir potencia mecánica, que se convierte a potencia eléctrica mediante los generadores 226, 228 y 230 respectivamente. Se usan convertidores 250, 252, 254 para convertir la salida de frecuencia variable procedente de los generadores 226, 228 y 230 respectivamente en una salida de frecuencia fija. La potencia producida por los generadores 226, 228 y 230 puede acoplarse a una red de distribución de tensión (no mostrada) o un sistema colector (no mostrado), que se acopla al sistema público de distribución. En la realización ilustrada, se usa una línea 240 de alimentación para acoplar salidas de potencia de generadores 226, 228 y 230 de turbinas eólicas. En una aplicación típica, la red de distribución de tensión acopla potencia procedente de múltiples líneas de alimentación (no mostradas), acoplando cada línea de alimentación salidas de potencia de múltiples generadores de turbinas eólicas.

50 En una realización a modo de ejemplo, el parque 210 eólico incluye un controlador 242 de supervisión de parque eólico. El controlador 242 de supervisión está configurado para comunicarse con controles 232, 234, 236 de turbina eólica individuales por medio de enlaces 244 de comunicación, que pueden implementarse como hardware, software, o ambos. En determinadas realizaciones, los enlaces 244 de comunicación pueden estar configurados para comunicar remotamente señales de datos hacia y desde el controlador de supervisión según cualquier protocolo de comunicación por cable o inalámbrico conocido para el experto en la técnica. El controlador 242 de supervisión recibe señales de entrada procedentes de controles 290 de generador síncrono y el dispositivo 260 de medición de red eléctrica GMD2. El controlador 242 de supervisión está acoplado a los controles 232, 234, 236 de turbina eólica y está configurado para modular el flujo de potencia a través de los convertidores 250, 252, 254 en respuesta a perturbaciones de frecuencia u oscilaciones de potencia del sistema público de distribución. La funcionalidad del controlador 242 de supervisión será similar a la del controlador 100 descrito en referencia a la figura 2. En otra realización, se proporcionan una pluralidad de controladores del tipo mostrado en la figura 1 para modular el flujo de potencia a través de cada respectivo convertidor. En una realización adicional los controles 232, 234, 236 de turbina eólica forman una parte integrada de un control de paso y potencia para la turbina eólica.

65 Los expertos en la técnica apreciarán que en las realizaciones anteriores se ha hecho referencia al sistema de turbina eólica como sistema de generación de potencia y gestión de potencia a modo de ejemplo acoplado al

sistema público de distribución. Los aspectos de la presente técnica pueden aplicarse igualmente a otras fuentes de generación distribuida que pueden hacerse funcionar para suministrar potencia al sistema público de distribución. Los ejemplos de tales fuentes incluyen células de combustible, microturbinas y sistemas fotovoltaicos. Tales sistemas de gestión de potencia incluirán de manera similar convertidores, estando cada convertidor acoplado a una respectiva fuente de generación y al sistema público de distribución, y un controlador de supervisión o individual acoplado a los convertidores. Tal como se explicó anteriormente en el presente documento, el controlador incluye un marco de referencia interno configurado para modular el flujo de potencia a través de los convertidores en respuesta a perturbaciones de frecuencia u oscilaciones de potencia del sistema público de distribución.

5

10

Dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas son posibles variaciones y modificaciones.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de generación eléctrica que comprende:
 - 5 - una unidad de generación eléctrica que puede hacerse funcionar para suministrar potencia eléctrica a un sistema público de distribución;
 - una máquina síncrona que puede acoplarse al sistema público de distribución, proporcionando respuesta inercial para la red eléctrica de servicio público;
 - 10 - un dispositivo de medición de la red eléctrica dispuesto para medir la corriente y la potencia que se intercambia entre la máquina síncrona y el sistema público de distribución;
 - un controlador para ajustar la potencia de salida de la unidad de generación eléctrica en función de la potencia y corriente que mide el dispositivo de medición de la red eléctrica; y
 - 15 - medios de comunicación entre el dispositivo de medición de la red eléctrica, controlador y/o la unidad de generación eléctrica, en el que la unidad de generación eléctrica está configurada para proporcionar corriente y potencia al sistema público de distribución en función de la potencia y corriente que mide el dispositivo de medición de la red eléctrica.
2. Sistema de generación eléctrica según la reivindicación 1, en el que la unidad de generación eléctrica es de uno de los siguientes tipos: un generador de turbina eólica, una célula solar, célula de combustible, microturbina, un sistema de energía undimotriz o similar.
- 25 3. Sistema de generación eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que la máquina síncrona es una micromáquina síncrona con una constante de inercia relativamente alta.
4. Sistema de generación eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el sistema de generación eléctrica comprende varias unidades de generación eléctrica que funcionan en paralelo.
- 30 5. Sistema de generación eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el controlador está configurado además para proporcionar una señal de control de paso de pala o una señal de control de velocidad de la turbina en respuesta a las perturbaciones de frecuencia o las oscilaciones de potencia del sistema público de distribución en función de la respuesta de máquina síncrona al sistema público de distribución.
- 35 6. Sistema de generación eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que una señal de entrada para el controlador comprende una señal de potencia o par motor y es función de la respuesta de máquina síncrona al sistema público de distribución.
- 40 7. Sistema de generación eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además una función de límite configurada para limitar una frecuencia relativa de modulación de flujo de potencia, una señal de par motor o potencia complementaria, o combinaciones de las mismas.
- 45 8. Sistema de generación eléctrica según la reivindicación 7, en el que la función de límite comprende límites que pueden hacerse funcionar en función de al menos uno de una limitación física en el sistema de generación eléctrica tal como un límite de potencia, un límite de par motor, un límite de corriente, un límite de energía o un límite de velocidad.
- 50 9. Sistema de generación eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el sistema de generación eléctrica comprende un generador de turbina eólica, generador de turbina eólica que comprende un generador asíncrono doblemente alimentado o un generador para su uso con un convertidor de plena potencia.
- 55 10. Sistema de generación eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que comprende un elemento de almacenamiento de energía, un elemento consumidor de energía o combinaciones de los mismos, en el que el elemento de almacenamiento de energía, el elemento consumidor de energía o las combinaciones de los mismos están acoplados a un convertidor.
- 60 11. Sistema de generación eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el árbol principal de la máquina síncrona está acoplado a un motor tal como un motor diésel, un motor eléctrico o similar.
- 65 12. Sistema de generación eléctrica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que la máquina síncrona está conectada a medios de control para que la máquina síncrona genere o absorba potencia reactiva.

13. Método para estabilizar la frecuencia y oscilaciones de potencia de un sistema público de distribución, método que comprende las etapas de:
- 5 - suministrar potencia procedente de una unidad de generación eléctrica al sistema público de distribución;
- proporcionar una máquina síncrona, que puede acoplarse al sistema público de distribución, una respuesta inercial para la red eléctrica de servicio público;
- 10 - medir la corriente y potencia que se intercambia entre la máquina síncrona y el sistema público de distribución;
- ajustar la potencia de salida de la unidad de generación eléctrica en función de la potencia y corriente que mide el dispositivo de medición de la red eléctrica, mientras se usan medios de comunicación entre el dispositivo de medición de la red eléctrica y la unidad de generación eléctrica, y
- 15 - en el que el sistema de generación eléctrica modula el flujo de potencia procedente de la unidad de generación eléctrica en función de las mediciones de potencia y corriente.
- 20 14. Método según la reivindicación 13, que comprende además ajustar la potencia de salida basándose en la tasa de cambio de la frecuencia de las mediciones de potencia y/o corriente.
15. Método según la reivindicación 13, que comprende además cambiar el paso de pala o la velocidad de turbina de un generador de turbina eólica en respuesta a la perturbación de frecuencia o la oscilación de potencia.
- 25 16. Método según la reivindicación 13, que comprende además modular el flujo de potencia en al menos un elemento de almacenamiento de energía o un elemento consumidor de energía en respuesta a perturbaciones de frecuencia u oscilaciones de potencia del sistema público de distribución.
- 30

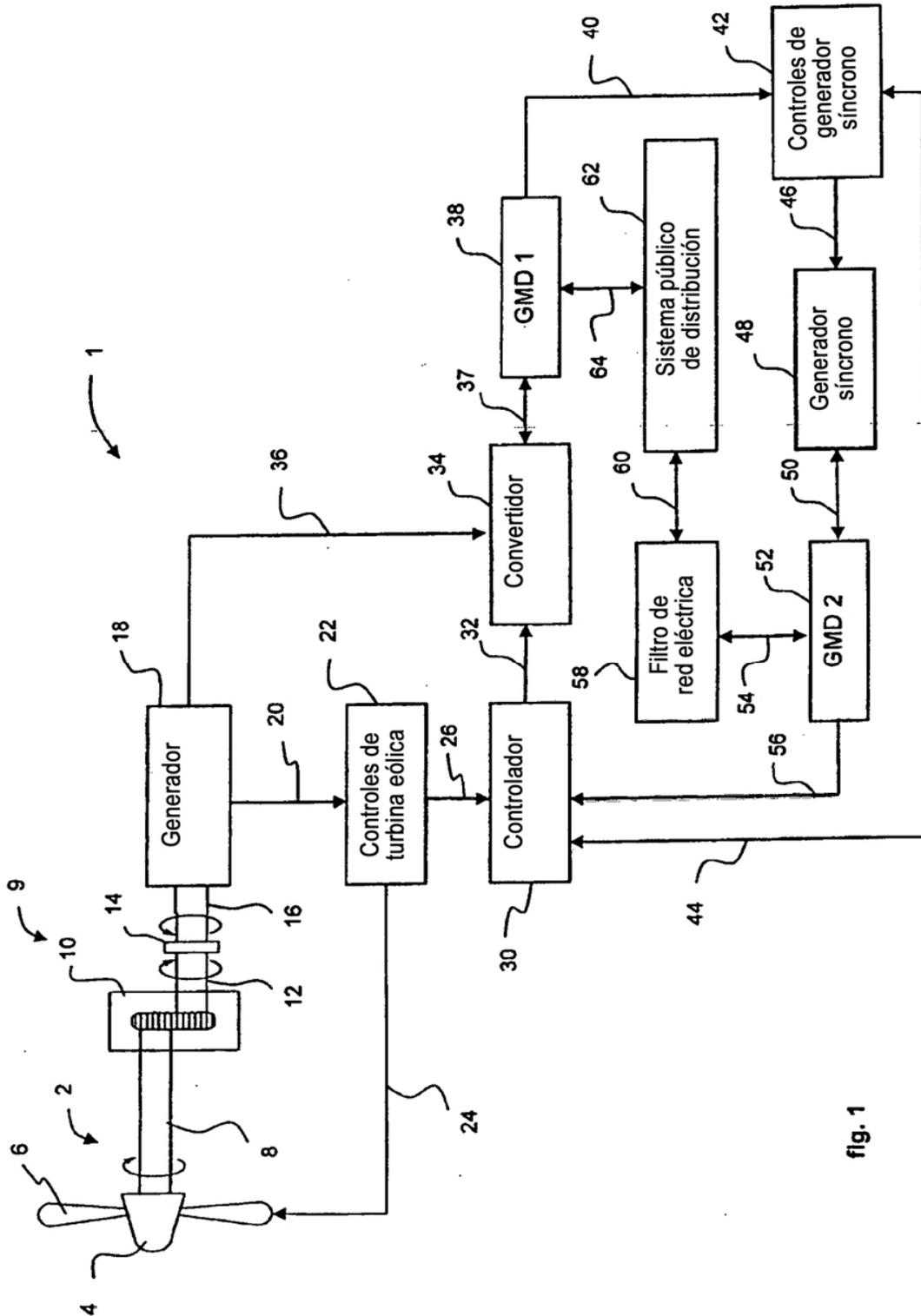


fig. 1

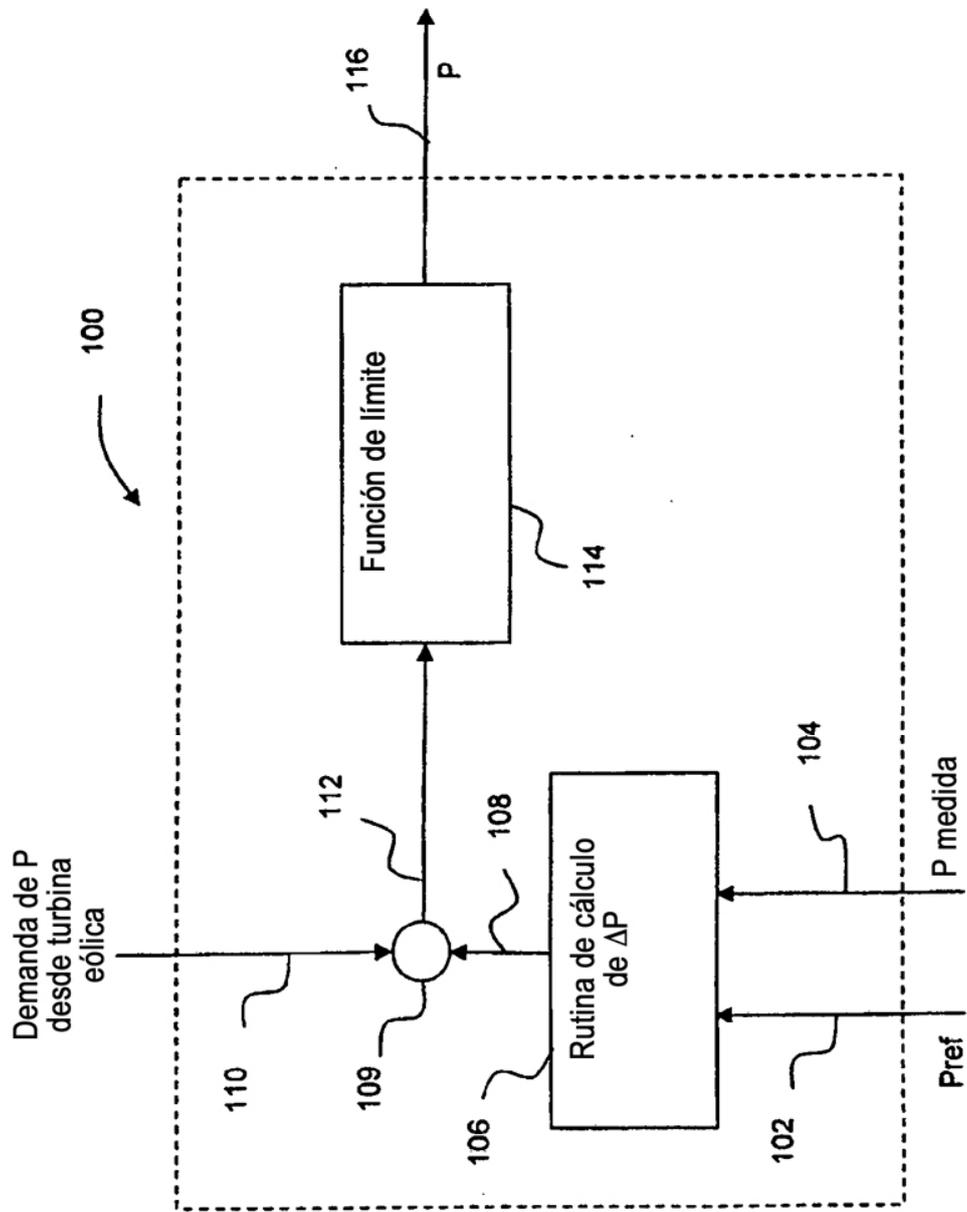


fig. 2

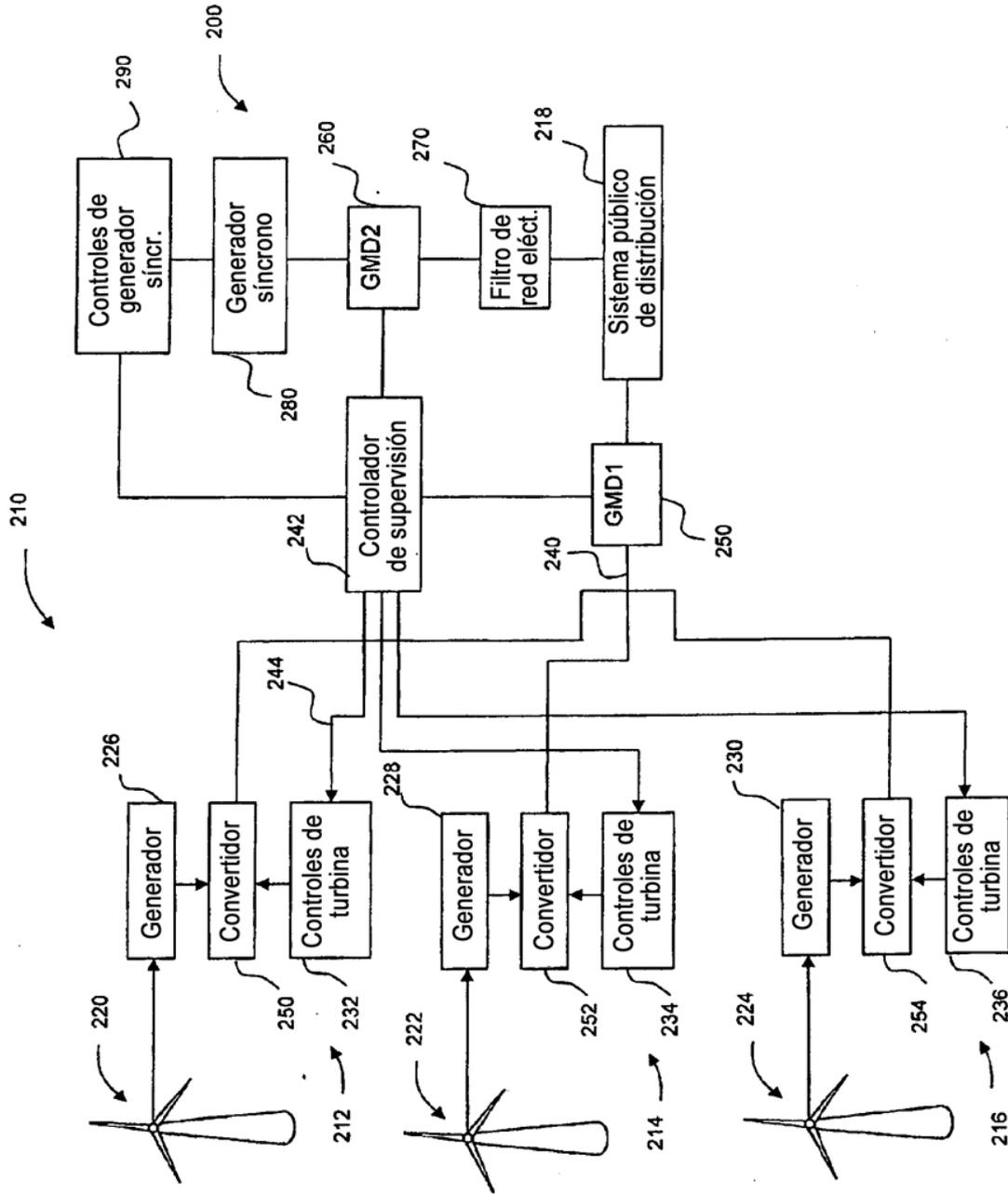


fig. 3