

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 857 078**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.05.2016 PCT/DK2016/050140**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.12.2016 WO16202338**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.05.2016 E 16725357 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.02.2021 EP 3311026**

54 Título: **Regulación de frecuencia usando generadores de turbina eólica**

30 Prioridad:

16.06.2015 DK 201570370

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

28.09.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**GARCIA, JORGE MARTINEZ;
KJÆR, MARTIN ANSBJERG y
CAPONETTI, FABIO**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 857 078 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

Regulación de frecuencia usando generadores de turbina eólica

Antecedentes

Campo de la invención

- 5 Realizaciones presentadas en esta divulgación se refieren de manera general a técnicas para hacer funcionar generadores de turbina eólica para proporcionar regulación de frecuencia en una red eléctrica operativamente conectada.

Descripción de la técnica relacionada

- 10 Las redes de generación y distribución de potencia modernas se basan cada vez más en fuentes de energía renovables, tales como generadores de turbina eólica. En algunos casos, los generadores de turbina eólica pueden sustituirse por generadores convencional basados en combustibles fósiles. Además de simplemente generar y suministrar potencia eléctrica, los generadores de turbina eólica son responsables de controlar la estabilidad de red mediante regulación de frecuencia. Sin embargo, las variaciones naturales en las condiciones de viento pueden afectar a la capacidad de las turbinas eólicas para suministrar potencia de manera predecible y regular la frecuencia de red. El documento US2015/159627A1 da a conocer un método de regulación de frecuencia de una red eléctrica acoplada a una turbina eólica que se hace funcionar para consumir potencia eléctrica a partir de la red.

Sumario

- 20 Una realización dada a conocer en el presente documento incluye un método y una disposición de control para la regulación de frecuencia de una red eléctrica operativamente acoplada con al menos un generador de turbina eólica. El método y la disposición de control incluyen hacer funcionar el generador de turbina eólica para consumir potencia eléctrica a partir de la red eléctrica.

Breve descripción de los dibujos

- 25 Para que la manera en la que las características anteriormente mencionadas de la presente divulgación pueda entenderse en detalle, puede obtenerse una descripción más particular de la divulgación, brevemente resumida anteriormente, mediante referencia a realizaciones, algunas de las cuales se ilustran en los dibujos adjuntos. Sin embargo, debe observarse que los dibujos adjuntos sólo ilustran realizaciones típicas de esta divulgación y por tanto no deben considerarse como limitativos de su alcance, dado que la divulgación puede admitir otras realizaciones igualmente eficaces.

La figura 1 ilustra una vista esquemática de una turbina eólica de eje horizontal, según una realización.

- 30 La figura 2 ilustra una central eólica conectada con una red eléctrica, según una realización.

La figura 3 ilustra un método de regulación de frecuencia de una red eléctrica operativamente acoplada con al menos un generador de turbina eólica, según una realización.

La figura 4 ilustra modos de regulación de frecuencia a modo de ejemplo durante condiciones de poco viento o sin viento, según una realización.

- 35 La figura 5 ilustra un modo de regulación de frecuencia a modo de ejemplo durante condiciones de viento normales, según una realización.

La figura 6 ilustra un método de aumentar una capacidad de tasa de variación gradual de una central eólica que comprende una pluralidad de generadores de turbina eólica, según una realización.

- 40 La figura 7 ilustra el funcionamiento a modo de ejemplo de una central eólica que proporciona una capacidad de tasa de variación gradual aumentada durante una restricción de potencia, según una realización.

La figura 8 ilustra el funcionamiento a modo de ejemplo de una central eólica que proporciona una capacidad de tasa de variación gradual aumentada durante condiciones de poco viento, según una realización.

- 45 Para facilitar la comprensión, se han usado números de referencia idénticos, cuando sea posible, para designar elementos idénticos que son comunes a las figuras. Se contempla que elementos dados a conocer en una realización pueden usarse de manera beneficiosa en otras realizaciones sin volver a mencionararlos de manera específica.

Descripción de ejemplos de realización

Realizaciones de la divulgación se refieren de manera general a hacer funcionar un generador de turbina eólica para consumir energía eléctrica a partir de una red eléctrica, o en algunos casos para aumentar el consumo eléctrico de

los sistemas auxiliares del generador de turbina eólica, con el fin de proporcionar regulación de frecuencia para una red eléctrica operativamente acoplada. En algunos casos, hacer funcionar uno o más generadores de turbina eólica de un parque eólico de esta manera puede proporcionar además una capacidad de tasa de variación gradual aumentada para el parque eólico durante una restricción de potencia y/o durante condiciones de poco viento o sin viento. Aunque tradicionalmente un generador de turbina eólica puede haberse apagado cuando las condiciones de

Aunque se comenta principalmente en el contexto de generadores de turbina eólica y energía eólica, el experto habitual entenderá que los principios y las técnicas descritos en el presente documento pueden aplicarse a sistemas de generación de potencia de diferentes tipos. Por ejemplo, otros tipos de sistemas de energía renovable se basan en recursos naturales tales como luz solar, lluvia, mareas, olas, calor geotérmico, etc., para realizar la generación de potencia. En algunos casos (y de manera similar a la energía eólica) la capacidad de estos recursos naturales de generar potencia eléctrica puede variar con el tiempo. Los sistemas de energía renovable pueden hacerse funcionar para tener un consumo eléctrico aumentado para proporcionar regulación de frecuencia para una red eléctrica operativamente acoplada, tal como hacer funcionar los sistemas de energía renovable como consumidores eléctricos durante periodos de baja o ninguna producción de potencia. Aunque los sistemas de generación de energía convencionales tales como los que emplean combustibles fósiles (por ejemplo, carbón, petróleo, gas natural) o combustibles nucleares no están normalmente sujetos a la misma variabilidad que los sistemas de energía renovable, los sistemas convencionales también pueden ofrecer capacidad de regulación de frecuencia mediante un consumo eléctrico aumentado de sistemas auxiliares.

La figura 1 ilustra una vista esquemática de una turbina eólica de eje horizontal 100. La turbina eólica 100 incluye normalmente una torre 102 y una góndola de turbina eólica 104 ubicada en la parte superior de la torre 102. Un rotor de turbina eólica 106 puede estar conectado con la góndola 104 a través de un árbol de baja velocidad que se extiende fuera de la góndola 104. El rotor de turbina eólica 106 incluye tres palas de rotor 108 montadas en un buje común 110, pero puede incluir cualquier número adecuado de palas, tal como una, dos, cuatro, cinco o más palas. La pala 108 (o perfil aerodinámico) tiene normalmente una forma aerodinámica con un borde de ataque 112 para orientarse hacia el viento, un borde de salida 114 en el extremo opuesto de una cuerda para la pala 108, una punta 116 y una raíz 118 para unirse al buje 110 de cualquier manera adecuada.

Para algunas realizaciones, las palas 108 pueden conectarse al buje 110 usando cojinetes de paso 120 de tal manera que cada pala 108 puede hacerse rotar alrededor de su eje longitudinal para ajustar el paso de la pala. El ángulo de paso de una pala 108 puede controlarse mediante accionadores lineales o motores paso a paso, por ejemplo, conectados entre el buje 110 y la pala 108. El control de paso de pala también puede usarse entre otros sistemas para maximizar la potencia generada por debajo de velocidades de viento nominales y para reducir la potencia generada por encima de la velocidad de viento nominal para evitar una carga excesiva sobre los componentes de turbina, por ejemplo, el generador y la caja de engranajes. Aunque las siguientes realizaciones se describen en el contexto de una turbina eólica, las realizaciones no se limitan a la misma. De hecho, esta divulgación puede aplicarse a cualquier sistema de generación de potencia que pueda consumir potencia eléctrica para soportar la regulación de frecuencia de una red eléctrica operativamente conectada.

La figura 2 ilustra una central eólica conectada con una red eléctrica, según una realización. La central eólica 205 incluye una pluralidad de turbinas eólicas 100 operativamente conectadas con una red eléctrica 230 en un punto de acoplamiento común (PCC) 235. En algunas realizaciones, las turbinas eólicas 100 de la central eólica 205 están acopladas con una subestación 220 que incluye un controlador a nivel de central 225; en este caso, la salida de la subestación 220 está acoplada con la red eléctrica 230. Las turbinas eólicas 100 pueden agruparse en varias ramificaciones 215A, 215B que están conectadas con una subestación 220 que puede incluir un controlador a nivel de central 225. La salida de la subestación 220 puede conectarse al PCC 235. En otras realizaciones, una o más turbinas eólicas pueden conectarse directamente a la red eléctrica sin dirigirse y/o agruparse a través de la subestación 220.

La red eléctrica 230 representa redes de transmisión y/o distribución, que pueden hacerse funcionar a una o más tensiones. La red eléctrica 230 incluye generalmente varias líneas de transmisión, transformadores, subestaciones, etc. La red eléctrica 230 puede estar conectada con una o más de otras instalaciones de generación 240, tales como una o más centrales eólicas adicionales, o uno o más tipos diferentes de instalaciones de generación, tales como basadas en combustibles fósiles, geotérmicas, solares, hidroeléctricas, nucleares y así sucesivamente. La red eléctrica 230 también está conectada con una o más cargas 245, que representan generalmente consumidores de electricidad industriales, comerciales y/o residenciales.

Generalmente, diferencias en la cantidad de potencia eléctrica generada (por ejemplo, producida por la central eólica 205 y otras instalaciones de generación 240) y la cantidad de potencia eléctrica demandada por las cargas (por ejemplo, las cargas 245) en una red eléctrica provocan que la frecuencia de red se desvíe con respecto a su valor recomendado o nominal. Los valores típicos de frecuencia de red nominal son 60 Hz en EE.UU. y 50 Hz en Europa. Un ejemplo de desviación de frecuencia de red incluye cuando la demanda de potencia supera la potencia

generada, la diferencia de energía puede extraerse a partir de la energía cinética (inercia) del generador de turbina eólica 250, lo cual provoca que el rotor (por ejemplo, el rotor de turbina eólica 106 de la figura 1) se ralentice y la frecuencia de red disminuya en consecuencia. Dicho de otro modo, la frecuencia de red está regida por la inercia colectiva de la maquinaria rotatoria conectada a la red eléctrica 230, la maquinaria rotatoria incluida en la central eólica 205 y/o las otras instalaciones de generación 240. Un déficit de energía provoca que la maquinaria rotatoria se ralentice. A la inversa, cuando la generación de potencia supera la cantidad de demanda de potencia, la frecuencia de red puede aumentar. En algunos casos, los generadores de turbina eólica pueden estar configurados para funcionar dentro de un intervalo de frecuencia predeterminado, tal como $\pm 1\%$ de la frecuencia de red nominal, antes de desconectarse o realizar otros procedimientos de regulación para restaurar la frecuencia de red hasta dentro del intervalo de frecuencia predeterminado.

Cada turbina eólica 100 incluye un generador de turbina eólica 250 configurado para convertir la energía mecánica del rotor de turbina eólica 106 en una o más fases de potencia eléctrica, que se suministra en última instancia a la red eléctrica 230 y a las cargas 245 conectadas a la misma. En diversas realizaciones, el generador de turbina eólica 250 produce potencia eléctrica mientras se hace funcionar por el controlador 260 en un modo de generador diferenciado. En algunos casos, el controlador 260 puede hacer funcionar el generador de turbina eólica 250 en un modo "motor" independiente (o equivalente), en el que el generador de turbina eólica 250 está configurado para consumir potencia eléctrica a partir de la red eléctrica 230 y/o a partir de otras fuentes eléctricas acopladas. En muchos casos, el controlador 260 puede hacer funcionar el generador de turbina eólica 250 en el modo motor en circunstancias limitadas y con el fin de realizar funciones de alcance limitado particulares para la turbina eólica. Por ejemplo, el modo motor puede usarse durante la puesta en marcha y calibración de la turbina eólica 100 para posicionar las palas. En algunos casos, el modo motor no se usa normalmente durante el funcionamiento "normal" del generador de turbina eólica 250 (es decir, mientras se hace funcionar para generar y suministrar potencia eléctrica a la red eléctrica 230).

La turbina eólica 100 incluye varios sistemas auxiliares 255 que se usan generalmente para soportar el arranque y funcionamiento de la turbina eólica 100. Algunos ejemplos no limitativos de los sistemas auxiliares 255 incluyen ventiladores para refrigerar componentes de potencia de turbina eólica (por ejemplo, un transformador de potencia), una bomba de agua de refrigeración para refrigerar el generador de turbina eólica 250, y un sistema de calentamiento para calentar previamente fluidos para el generador de turbina eólica 250. Los ejemplos no limitativos adicionales de los sistemas auxiliares 255 incluyen sistemas de control climático tales como aire acondicionado, calefacción, deshumidificación, etc., para mantener un entorno de funcionamiento adecuado para equipos basados en ordenadores tales como el controlador 260, para técnicos humanos, etc. Los sistemas auxiliares 255 también pueden incluir iluminación interna y/o externa para la turbina eólica 100.

En muchos casos, los sistemas auxiliares 255 se hacen funcionar de una manera económica, consumiendo únicamente cantidades mínimas de potencia eléctrica. Sin embargo, en algunas realizaciones dadas a conocer en el presente documento, puede resultar beneficioso hacer funcionar los sistemas auxiliares 255 para consumir cantidades mayores de potencia eléctrica para así proporcionar regulación de frecuencia para la red eléctrica 230. Algunos ejemplos de consumo de potencia aumentado incluyen aumentar la velocidad de ventiladores, establecer puntos de referencia de temperatura inferiores o superiores a los requeridos, usar iluminación interna y externa, etc. En una realización, puede lograrse consumo de potencia aumentado mediante el funcionamiento simultáneo de los sistemas auxiliares 255 que generalmente tienen efectos de compensación u opuestos. Por ejemplo, habitualmente puede considerarse que hacer funcionar de manera simultánea sistemas de calentamiento y refrigeración para el generador de turbina eólica es un desperdicio de energía, pero los efectos del sistema de calentamiento pueden compensarse por los efectos del sistema de refrigeración al tiempo que se aumenta el consumo eléctrico para proporcionar una mayor capacidad de regulación de frecuencia.

En algunas realizaciones, el funcionamiento simultáneo de los sistemas auxiliares 255 puede controlarse basándose en sus características. Por ejemplo, se supone que el sistema de calentamiento que funciona a capacidad completa genera calor más rápido de lo que el sistema de refrigeración a capacidad completa puede disipar calor. Si ambos sistemas se hacen funcionar a capacidad completa, el resultado será generalmente un aumento de temperatura del generador de turbina eólica asociado, lo cual puede no ser deseable. Aunque puede ser deseable hacer funcionar el sistema de calentamiento a su capacidad para aumentar su demanda eléctrica y proporcionar una mayor capacidad de regulación de frecuencia de red, el controlador 260 puede limitar la salida del sistema de calentamiento de modo que sus efectos de calentamiento puedan compensarse completamente por el sistema de refrigeración.

El controlador 260 incluye un procesador 265 y una memoria 275. El procesador 265 puede tener cualquier forma adecuada, tal como un microprocesador de uso general, un controlador, un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) y así sucesivamente. En algunas realizaciones, el procesador 265 comprende partes (o la totalidad) de uno o más circuitos integrados (IC) y/u otros componentes de conjuntos de circuitos. En algunas realizaciones, el procesador 265 también comprende instrucciones legibles electrónicamente, tales como código de firmware, código de software y similares. En algunas realizaciones, los componentes que comprende el procesador 265 están ubicados juntos, tal como estando incluidos en una placa de circuito impreso común. El procesador 265 está acoplado además con una memoria 275. La memoria 275 puede incluir una variedad de medios legibles por ordenador seleccionados por su tamaño, rendimiento relativo u otras capacidades: medios volátiles y/o no volátiles, medios extraíbles y/o no extraíbles, etc. La memoria 275 puede incluir registros, memoria caché, memoria de acceso

aleatorio (RAM), almacenamiento, etc. El almacenamiento incluido como parte de la memoria 275 puede proporcionar normalmente una memoria no volátil para el procesador 265 y puede incluir uno o más elementos de almacenamiento diferentes tales como memoria flash, una unidad de disco duro, una unidad de estado sólido, un dispositivo de almacenamiento óptico y/o un dispositivo de almacenamiento magnético.

- 5 El procesador 265 puede incluir un módulo de determinación 270 configurado para determinar uno o más aspectos del entorno de funcionamiento para la turbina eólica 100, tal como medir características de la red eléctrica 230 (por ejemplo, tensión de red, frecuencia de red, etc.), medir condiciones de viento en la turbina eólica 100 y así sucesivamente. El módulo de determinación 270 puede implementarse en hardware o firmware, como software almacenado en la memoria 275 o combinaciones de los mismos. Además, el módulo de determinación 270 puede
10 implementarse únicamente dentro del controlador 260 de turbina eólica 100, distribuido a través de controladores de múltiples turbinas eólicas 100 de la central eólica 205 y/o distribuido entre el/los controlador(es) 260 y el controlador a nivel de central 225. El módulo de determinación 270 puede estar acoplado con uno o más dispositivos basados en sensor, tales como sensores de tensión, sensores de corriente, anemómetros, etc. La memoria 275 puede incluir uno o más valores umbral 280 con los que el procesador 265 compara los aspectos determinados. Por ejemplo, los
15 valores umbral 280 pueden incluir frecuencias de red superior e inferior que forman un intervalo alrededor de un valor de frecuencia de red nominal. Si la frecuencia de red determinada se encuentra fuera del intervalo, el controlador puede realizar una o más acciones, tales como comenzar la regulación de frecuencia usando el generador de turbina eólica 250, aumentar la cantidad de regulación de frecuencia aplicada y así sucesivamente.

- Aumentando selectivamente la demanda de potencia eléctrica de un generador de turbina eólica 250 (mediante el
20 funcionamiento en un modo motor diferenciado y/o haciendo funcionar los sistemas auxiliares 255 para aumentar su consumo eléctrico) puede controlarse mejor el equilibrio entre la potencia eléctrica generada y consumida en la red eléctrica 230 para mantener una frecuencia de red deseada. Además, el funcionamiento puede realizarse por el generador de turbina eólica 250 incluso durante periodos de poco viento o sin viento, que generalmente no son adecuados para fines de generación de potencia. La capacidad de regulación de frecuencia puede contratarse o
25 comercializarse de otro modo para producir ingresos para el operador de los generadores de turbina eólica. Adicionalmente, el funcionamiento de uno o más generadores de turbina eólica 250 dentro de una central eólica 105 como consumidores eléctricos (en vez de simplemente apagar los generadores de turbina eólica 250) aumenta generalmente la capacidad de la central eólica 105 para aumentar y reducir gradualmente la salida de potencia (también denominado "capacidad de tasa de variación gradual").

- 30 La figura 3 ilustra un método de regulación de frecuencia de una red eléctrica operativamente acoplada con al menos un generador de turbina eólica, según una realización. En algunas realizaciones, el método puede realizarse mediante un módulo de determinación incluido en un controlador a nivel de turbina eólica y/o controlador a nivel de central. El método 300 comienza en el bloque 305, en el que el controlador (o el módulo de determinación) determina la frecuencia de la red eléctrica. En algunos casos, el controlador usa medidas proporcionadas por
35 sensores tales como sensores de tensión o corriente.

- En el bloque 310, el módulo de determinación determina si la frecuencia de red supera un valor umbral. En algunos casos, el valor umbral se refiere a un intervalo de frecuencia que rodea a una frecuencia de red nominal, tal como 50 ó 60 Hz. Por ejemplo, el valor umbral puede ser el 1% más que la frecuencia de red nominal. Si la frecuencia de red no supera el valor umbral ("NO"), el método puede volver al bloque 305 y continuar monitorizando la frecuencia de
40 red. Sin embargo, si la frecuencia de red supera el valor umbral ("SÍ"), el método avanza al bloque opcional 315, o al bloque 325.

- En algunas realizaciones, el controlador puede hacer funcionar el generador de turbina eólica y/o los sistemas auxiliares para proporcionar regulación de frecuencia para la red eléctrica, independientemente de las condiciones de viento locales. En estas realizaciones, el método avanza desde el bloque 310 hasta el bloque 325. En otras
45 realizaciones, las condiciones de viento locales pueden tenerse en cuenta cuando se determina si proporcionar regulación de frecuencia. Por consiguiente, en el bloque opcional 315 el controlador determina las condiciones de viento en el generador de turbina eólica. El controlador puede recibir datos a partir de uno o más sensores para medir las condiciones de viento, tales como anemómetros, sensores de radar de luz (LIDAR), etc. En el bloque opcional 320, el controlador determina si las condiciones de viento son suficientes para que el generador de turbina
50 eólica genere una salida de potencia umbral mínima. En algunas realizaciones, la salida de potencia umbral mínima puede reflejar un porcentaje de la salida de potencia nominal. La salida de potencia umbral mínima puede recomendarse mediante reglamentos administrativos (tales como códigos de red local) o quizás consideraciones de funcionamiento para el generador de turbina eólica, tales como límites mecánicos. En un ejemplo, la salida de potencia umbral mínima es el 20% de la salida de potencia nominal. Por consiguiente, un generador de turbina
55 eólica de 3 megavatios (MW) nominales tendrá una salida de potencia umbral mínima de 600 kilovatios (kW). Generalmente, para una salida de potencia que es menor que la salida de potencia umbral mínima (por ejemplo, 600 kW), el controlador puede estar configurado para apagar el generador de turbina eólica para que no produzca potencia eléctrica.

- Si las condiciones de viento son suficientes para generar la potencia umbral mínima ("SÍ"), el generador de turbina
60 eólica puede continuar generando potencia eléctrica, y el método puede terminar. En este caso, el controlador puede proporcionar regulación de frecuencia ajustando la salida de potencia a partir del generador de turbina eólica.

Alternativamente, el método puede volver al bloque 315 y continuar monitorizando las condiciones de viento. Sin embargo, si las condiciones de viento no son suficientes para generar la potencia umbral mínima ("NO"), el método avanza al bloque 325.

5 En el bloque 325, el controlador hace funcionar el generador de turbina eólica para consumir potencia eléctrica a partir de la red eléctrica. En algunos casos, esta operación comienza con el generador de turbina eólica en un estado apagado. En algunas realizaciones, el controlador puede hacer funcionar el generador de turbina eólica en un "modo motor" que es distinto de un modo de generación eléctrica. El controlador puede controlar la cantidad de consumo eléctrico del generador de turbina eólica basándose en la cantidad de regulación de frecuencia deseada.

10 En el bloque 335, el controlador hace funcionar sistemas auxiliares de la turbina eólica para aumentar su consumo de potencia eléctrica. En algunas realizaciones, aumentar el consumo de potencia eléctrica incluye aumentar velocidades de ventiladores, establecer puntos de referencia de temperatura inferiores o superiores, etc. En algunas realizaciones, aumentar el consumo de potencia eléctrica incluye hacer funcionar de manera simultánea sistemas auxiliares que proporcionan efectos de compensación u opuestos, tales como un sistema de calentamiento y un sistema de refrigeración que se contrarrestan con respecto al perfil de temperatura de uno o más componentes de
15 turbina eólica. El consumo de potencia eléctrica de la turbina eólica puede aumentarse de ese modo mientras que los componentes de turbina eólica continúan funcionando dentro de un intervalo de temperaturas aceptables. En una realización alternativa, el controlador puede hacer funcionar los sistemas auxiliares para aumentar el consumo de potencia eléctrica aunque el generador de turbina eólica genere potencia eléctrica, proporcionando regulación de frecuencia para la red eléctrica mediante uno o ambos de reducir la salida de potencia y aumentar el consumo de
20 potencia. El método 300 termina después de completarse el bloque 335.

En algunas realizaciones, los bloques 325, 335 pueden realizarse de manera simultánea o en un orden inverso. En algunas realizaciones, los bloques 325, 335 pueden realizarse como respuesta por niveles a que la frecuencia de red supere el valor umbral. Por ejemplo, generalmente el consumo de potencia eléctrica de los sistemas auxiliares puede aumentarse y reducirse de manera gradual más rápidamente que cambiar entre modos de funcionamiento del
25 generador de turbina eólica. Por tanto, en una realización, el bloque 335 puede realizarse como respuesta de "primer nivel", dado que los sistemas auxiliares pueden controlarse de manera más sensible para gestionar excursiones de frecuencia de red relativamente menores. Por consiguiente, el bloque 325 puede realizarse como respuesta de "segundo nivel" para excursiones de frecuencia de red más graves que superan la capacidad de regulación de frecuencia disponible a través de los sistemas auxiliares.

30 En algunas realizaciones alternativas del método 600, los bloques 315, 320 pueden realizarse sin realizar los bloques 305, 310. Dicho de otro modo, el controlador puede hacer funcionar el generador de turbina eólica como una carga eléctrica (bloque 325) o con carga eléctrica aumentada (por ejemplo, consumo aumentado por los sistemas auxiliares en el bloque 335) cuando las condiciones de viento no son adecuadas para la generación de potencia, independientemente de la frecuencia de red. De esta manera, se aumentará la capacidad de tasa de variación gradual de la central eólica, en comparación con una configuración en la que el generador de turbina eólica se apagará en respuesta a las condiciones de viento no adecuadas.
35

La figura 4 ilustra modos de regulación de frecuencia a modo de ejemplo durante condiciones de poco viento o sin viento, según una realización. El gráfico 400 ilustra la salida de potencia para un generador de turbina eólica según un modo de regulación de frecuencia a modo de ejemplo. En algunas realizaciones, el gráfico 400 puede representar
40 la salida de potencia combinada del generador de turbina eólica y los sistemas auxiliares de la turbina eólica. El eje horizontal representa la frecuencia de red f_{red} en unidades de hercios (Hz). El eje vertical representa la potencia activa P_{activa} en unidades por unidad (pu), tanto si la potencia activa está generándose como consumiéndose por el generador de turbina eólica. Para el gráfico 400, el generador de turbina eólica se hace funcionar para proporcionar regulación de frecuencia únicamente en un sentido hacia abajo, es decir, para reducir la frecuencia de red según sea
45 apropiado.

El gráfico 400 ilustra un valor nulo de generación de potencia o consumo de potencia para el generador de turbina eólica a través de un intervalo de frecuencias que rodea a una frecuencia de red nominal f_{nom} . Este valor nulo puede indicar generalmente que el generador de turbina eólica se apaga durante condiciones de poco viento o sin viento para el intervalo de frecuencias. El valor de f_{nom} puede variar por ubicación, tal como 60 Hz en EE.UU. y 50 Hz en Europa, etc. En algunas realizaciones, f_{nom} puede sustituirse por cualquier valor de frecuencia deseado. Dentro del
50 intervalo de $f_{nom} \pm f_1$, el generador de turbina eólica no proporciona ninguna regulación de frecuencia para la red eléctrica. La frecuencia f_1 puede representar generalmente una cantidad aceptable de variación de la frecuencia de red, que en algunos casos se recomienda mediante códigos de red locales. En un ejemplo, f_1 es el 1% de f_{nom} , de tal manera que el valor de f_1 será de 0,6 Hz para $f_{nom} = 60$ Hz, y 0,5 Hz para $f_{nom} = 50$ Hz.

55 Para frecuencias de red superiores a $f_{nom} + f_1$, el controlador hace funcionar el generador de turbina eólica y/o sistemas auxiliares para aumentar el consumo de potencia. La cantidad de consumo de potencia aumenta generalmente con frecuencias de red crecientes. Aunque se representa como lineal, la relación entre el consumo de potencia y la frecuencia de red puede ser de cualquier forma adecuada (no lineal, por tramos, escalonada, etc.).

El gráfico 420 ilustra la salida de potencia para un generador de turbina eólica según otro modo de regulación de

frecuencia a modo de ejemplo. En algunas realizaciones, el gráfico 420 puede representar la salida de potencia combinada del generador de turbina eólica y los sistemas auxiliares de la turbina eólica. En este caso, el generador de turbina eólica está configurado para proporcionar regulación de frecuencia tanto hacia arriba como hacia abajo. Dentro del intervalo de $f_{nom} \pm f_1$, el controlador hace funcionar el generador de turbina eólica para consumir una cantidad constante de potencia P_1 . Para frecuencias de red superiores a $f_{nom} + f_1$, el generador de turbina eólica proporciona una regulación de frecuencia hacia debajo de una manera similar a la descrita para el gráfico 400.

Para frecuencias de red inferiores a $f_{nom} - f_1$, el generador de turbina eólica proporciona regulación de frecuencia hacia arriba disminuyendo su consumo de potencia con frecuencias de red decrecientes. Al continuar siguiendo los valores de frecuencia de red decrecientes, el generador de turbina eólica puede alcanzar un valor de consumo de potencia mínimo P_2 a una frecuencia particular $f_{nom} - f_2$. En algunas realizaciones, el valor de consumo de potencia mínimo P_2 es próximo a cero, dado que la velocidad de rotor del generador de turbina eólica no está regida por las propiedades aerodinámicas de las palas en un modo motor. En algunas realizaciones, P_2 puede reflejar un consumo de potencia mínimo de los sistemas auxiliares.

La figura 5 ilustra un modo de regulación de frecuencia a modo de ejemplo durante condiciones de viento normales, según una realización. El gráfico 500 ilustra la salida de potencia para un generador de turbina eólica según un modo de regulación de frecuencia a modo de ejemplo. En algunas realizaciones, el gráfico 500 puede representar la salida de potencia combinada del generador de turbina eólica y los sistemas auxiliares de la turbina eólica. El experto habitual reconocerá que aunque el generador de turbina eólica está generando potencia, el consumo de potencia de los sistemas auxiliares puede aumentarse para reducir la salida de potencia neta de la turbina eólica, y viceversa.

Dentro del intervalo de $f_{nom} \pm f_1$, el controlador hace funcionar el generador de turbina eólica para generar una cantidad constante de potencia P_1 . Para frecuencias de red inferiores a $f_{nom} - f_1$, el generador de turbina eólica proporciona regulación de frecuencia hacia arriba aumentando su generación de potencia con frecuencias de red decrecientes. El generador de turbina eólica puede alcanzar un valor de generación de potencia máximo P_3 a una frecuencia particular $f_{nom} - f_3$.

Para frecuencias de red superiores a $f_{nom} + f_1$, el controlador hace funcionar el generador de turbina eólica para reducir la generación de potencia con valores de frecuencia de red crecientes. El valor de generación de potencia mínima P_{min} del generador de turbina eólica se alcanza a una frecuencia particular f_6 . En algunas realizaciones, P_{min} puede corresponder a un porcentaje de la salida de potencia nominal del generador de turbina eólica. Para valores de frecuencia de red que superan f_6 , puede requerirse que el controlador apague el generador de turbina eólica para que no genere potencia. En algunas realizaciones, el controlador provoca que el generador de turbina eólica apagado entre en un modo motor para proporcionar regulación de frecuencia hacia abajo adicional para la red eléctrica. Por ejemplo, el generador de turbina eólica puede permanecer en un estado apagado dentro de un intervalo de frecuencia de red $f_{nom} + f_4 \pm f_5$, ni generando ni consumiendo potencia (el nivel de potencia P_4 es aproximadamente igual a cero). Sin embargo, para frecuencias superiores a $f_{nom} + f_4 + f_5$, el controlador hace funcionar el generador de turbina eólica para aumentar el consumo de potencia para aumentar adicionalmente la carga de la red eléctrica y reducir de ese modo la frecuencia de red f_{red} . La cantidad de consumo de potencia para el generador de turbina eólica aumenta generalmente con frecuencias de red crecientes.

La figura 6 ilustra un método de aumentar una capacidad de tasa de variación gradual de una central eólica que comprende una pluralidad de generadores de turbina eólica, según una realización. El método 600 puede realizarse generalmente mediante un controlador a nivel de central en comunicación con controladores a nivel de turbina eólica.

El método 600 comienza en el bloque opcional 605, en el que el controlador determina condiciones de viento en una pluralidad de generadores de turbina eólica de la central eólica. El controlador puede usar datos adquiridos a partir de sensores dispuestos cerca de cada uno de la pluralidad de generadores de turbina eólica (o agrupamientos de los generadores de turbina eólica) para medir las condiciones de viento.

En el bloque opcional 615, el controlador determina una restricción de la salida de central eólica. Tal como se usa en el presente documento, restricción se refiere de manera general a generar una cantidad de potencia menor que la cantidad de potencia que puede producirse en las condiciones de viento actuales. La restricción de potencia puede usarse generalmente para abordar fallos en la red eléctrica u otras limitaciones de transmisión.

Normalmente uno o ambos de los bloques opcionales 605 y 615 pueden producirse durante el método 600 antes de realizar los bloques posteriores 625, 635. En el bloque 625, se apagan uno o más de la pluralidad de generadores de turbina eólica mediante el controlador. Esto puede ser en respuesta a las determinaciones realizadas en los bloques 605 y/o 615, tal como en respuesta a condiciones de poco viento o sin viento, o en respuesta a una restricción de la salida de central eólica.

En el bloque 635, el controlador hace funcionar al menos uno del uno o más generadores de turbina eólica apagados para consumir potencia eléctrica y para así aumentar una capacidad de tasa de variación gradual de la central eólica. En algunas realizaciones, el controlador a nivel de central señala a los controladores a nivel de

turbina eólica particulares que hagan funcionar los generadores de turbina eólica correspondientes en un modo motor diferenciado, y también puede recomendar el consumo de potencia para cada uno de los generadores de turbina eólica. El método 600 termina tras completarse el bloque 635.

La figura 7 ilustra el funcionamiento a modo de ejemplo de una central eólica que proporciona una capacidad de tasa de variación gradual aumentada durante una restricción de potencia, según una realización. En este ejemplo, una central eólica en la configuración 705 incluye diez generadores de turbina eólica 710. Cada generador de turbina eólica 710 tiene una potencia nominal de 3 megavatios (MW) y una capacidad de tasa de variación gradual de 300 kilovatios por segundo (kW/s). Además, cada generador de turbina eólica tiene un nivel de potencia mínimo de 600 kW; cuando las condiciones de viento provocan que la potencia de salida sea menor que el mínimo, el generador de turbina eólica se apaga por el controlador. Las características colectivas de la central eólica incluyen un valor nominal de potencia de central de 30 MW, una capacidad de tasa de variación gradual de la central de 3.000 kW/s (o 3 MW/s) y una potencia mínima de central de 6.000 kW (o 6 MW) con todos los generadores de turbina eólica funcionando a sus niveles de potencia mínimos.

En el momento 1, los diez generadores de turbina eólica 710 están generando potencia ("G"). En el momento 2, la central eólica recibe una restricción de su salida hasta 4.200 kW. Como resultado, el controlador de central eólica debe determinar una configuración diferente para los generadores de turbina eólica 710 para reducir el nivel de potencia de central desde el mínimo de 6.000 kW hasta 4.200 kW. En el momento 3A, el controlador determina una configuración 715. El controlador determina que siete generadores de turbina eólica 710 que funcionan a la potencia mínima de 600 kW cumplen la salida de central de 4.200 kW requerida y por consiguiente apaga tres generadores de turbina eólica 710 ("S"; sombreado). Con tres generadores de turbina eólica 710 apagados, la capacidad de tasa de variación gradual de la central se reduce hasta 2.100 kW/s (7 x 300 kW/s), lo cual corresponde a 0,07 pu/s (2.100 kW/s / 30 MW).

Sin embargo, en el momento 3B, el controlador determina una configuración alternativa 720. Para los fines de este ejemplo, se supone que hacer funcionar un generador de turbina eólica en modo motor con consumo eléctrico aumentado mediante los sistemas auxiliares asociados consume un total de 1.200 kW. Haciendo funcionar uno o más generadores de turbina eólica para consumir potencia eléctrica, no se necesita reducir la potencia generada de la central eólica tanto como en la configuración 715.

En la configuración 720, se cambia un único generador de turbina eólica 710 a un modo motor ("M"), mientras que los nueve generadores de turbina eólica 710 restantes generan potencia al mínimo de 600 kW cada uno. Por consiguiente, la generación eléctrica colectiva de la central es de 5.400 kW (9 x 600 kW), y el consumo eléctrico es de 1.200 kW (1 x 1.200), produciendo una generación neta de 4.200 kW y cumpliendo de ese modo el requisito de restricción. Con un único generador de turbina eólica funcionando en modo motor, la capacidad de tasa de variación gradual de la central sólo se reduce hasta 2.700 kW/s (9 x 300 kW/s), lo cual corresponde a 0,09 pu/s (2.700 kW/s / 30 MW). Por consiguiente, la capacidad de tasa de variación gradual de la central eólica puede aumentarse gracias a hacer funcionar uno o más generadores de turbina eólica en un modo motor, en comparación a simplemente apagar generadores de turbina eólica para cumplir una restricción de potencia.

Por tanto, la figura 7 ilustra que, simplemente haciendo funcionar uno o más generadores de turbina eólica 710 en un modo motor, generadores de turbina eólica 710 adicionales pueden permanecer en funcionamiento y aumentar de ese modo la capacidad de tasa de variación gradual de la central eólica. Además, ese/esos generador(es) de turbina eólica 710 que funciona(n) en el modo motor puede(n) contribuir adicionalmente a la capacidad de tasa de variación gradual de la central eólica. Por ejemplo, se supone que el generador de turbina eólica 710 que se ha cambiado (es decir, que funciona en modo motor) de la configuración 720 proporciona una capacidad de tasa de variación gradual adicional de 60 kW/s. La capacidad de tasa de variación gradual total para la central eólica se aumentará por tanto hasta 2760 kW/s o 0,092 pu/s.

La figura 8 ilustra el funcionamiento a modo de ejemplo de una central eólica que proporciona una capacidad de tasa de variación gradual aumentada durante condiciones de poco viento, según una realización. La central eólica incluye diez generadores de turbina eólica 710. En el momento 1, siete de los diez generadores de turbina eólica 710 no pueden generar una cantidad de potencia umbral mínima debido a las condiciones de viento actuales. Tal como se comentó anteriormente, la cantidad de potencia umbral mínima puede determinarse mediante reglamentos administrativos (por ejemplo, códigos de red locales) o consideraciones de funcionamiento para el generador de turbina eólica, y en algunos casos puede especificarse como una porción de la potencia nominal del generador de turbina eólica. Por consiguiente, el controlador determina una configuración 805 en la que los siete generadores de turbina eólica 710 están apagados ("S"; sombreado). Basándose en los tres generadores de turbina eólica 710 en generación, la capacidad de tasa de variación gradual de la central es de 900 kW/s (3 x 300 kW/s), lo cual corresponde a 0,03 pu/s.

Sin embargo, en el momento 2, el controlador determina una configuración alternativa 810, en la que los siete generadores de turbina eólica 710 apagados se cambian a un modo motor ("M"). Suponiendo que un generador de turbina eólica 710 puede variar de manera gradual tan rápidamente en el modo motor como en el modo de generación, la capacidad de tasa de variación gradual de la central con los diez generadores de turbina eólica sigue siendo de 3.000 kW/s (10 x 300 kW/s), lo cual corresponde a 0,1 pu/s (3.000 kW/s / 30 MW). Sin embargo, aunque

la tasa de variación gradual sea más lenta en el modo motor que en el modo de generación, la capacidad de tasa de variación gradual de la central eólica puede aumentarse simplemente gracias a hacer funcionar uno o más generadores de turbina eólica en un modo motor, en comparación a simplemente dejar generadores de turbina eólica apagados debido a condiciones de poco viento.

En lo anterior, se hace referencia a realizaciones presentadas en esta divulgación. Sin embargo, el alcance de la presente divulgación no se limita a realizaciones descritas específicas. En vez de eso, cualquier combinación de las características y los elementos anteriores, tanto si se refieren a realizaciones diferentes como si no, se contempla para implementar y poner en práctica realizaciones contempladas. Además, aunque realizaciones dadas a conocer en el presente documento pueden lograr ventajas con respecto a otras soluciones posibles o con respecto a la técnica anterior, el hecho de si se logra o no una ventaja particular por una realización dada no limita el alcance de la presente divulgación. Por tanto, los aspectos, características, realizaciones y ventajas anteriores son simplemente ilustrativos y no se consideran elementos o limitaciones de las reivindicaciones adjuntas excepto cuando se mencionen explícitamente en una(s) reivindicación/reivindicaciones. Asimismo, la referencia a "la invención" no deberá interpretarse como una generalización de ningún objeto inventivo dado a conocer en el presente documento y no deberá considerarse que sea un elemento o limitación de las reivindicaciones adjuntas excepto cuando se mencione explícitamente en una(s) reivindicación/reivindicaciones.

Tal como apreciará un experto en la técnica, las realizaciones dadas a conocer en el presente documento pueden implementarse como un sistema, método o producto de programa informático. Por consiguiente, aspectos pueden adoptar la forma de una realización totalmente de hardware, una realización totalmente de software (incluyendo firmware, software residente, microcódigo, etc.) o una realización que combina aspectos de software y hardware que pueden denominarse todos ellos de manera general en el presente documento "circuito", "módulo" o "sistema". Además, aspectos pueden adoptar la forma de un producto de programa informático implementado en uno o más medios legibles por ordenador que tienen código de programa legible por ordenador implementado en los mismos.

Puede usarse cualquier combinación de uno o más medios legibles por ordenador. El medio legible por ordenador puede ser un medio de señal legible por ordenador o un medio de almacenamiento legible por ordenador. Un medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser, por ejemplo, pero no se limita a, un sistema, aparato o dispositivo electrónico, magnético, óptico, electromagnético, de infrarrojos o de semiconductor, o cualquier combinación adecuada de los anteriores. Los ejemplos más específicos (una lista no exhaustiva) del medio de almacenamiento legible por ordenador incluirán los siguientes: una conexión eléctrica que tiene uno o más cables, un disquete informático portátil, un disco duro, una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de sólo lectura (ROM), una memoria de sólo lectura programable borrable (EPROM o memoria flash), una fibra óptica, una memoria de sólo lectura de disco compacto portátil (CD-ROM), un dispositivo de almacenamiento óptico, un dispositivo de almacenamiento magnético o cualquier combinación adecuada de los anteriores. En el contexto de este documento, un medio de almacenamiento legible por ordenador es cualquier medio tangible que puede contener o almacenar un programa para su uso por, o en conexión con, un sistema, aparato o dispositivo de ejecución de instrucciones.

Un medio de señal legible por ordenador puede incluir una señal de datos propagada con código de programa legible por ordenador implementado en la misma, por ejemplo, en banda base o como parte de una onda portadora. Una señal propagada de este tipo puede adoptar cualquiera de una variedad de formas, incluyendo, pero sin limitarse a, electromagnética, óptica o cualquier combinación adecuada de las mismas. Un medio de señal legible por ordenador puede ser cualquier medio legible por ordenador que no es un medio de almacenamiento legible por ordenador y que puede comunicar, propagar o transportar un programa para su uso por, o en conexión con, un sistema, aparato o dispositivo de ejecución de instrucciones.

Código de programa implementado en un medio legible por ordenador puede transmitirse usando cualquier medio apropiado, incluyendo, pero sin limitarse a, inalámbrico, cableado, cable de fibra óptica, RF, etc., o cualquier combinación adecuada de los anteriores.

Código de programa informático para llevar a cabo operaciones para aspectos de la presente divulgación puede escribirse en cualquier combinación de uno o más lenguajes de programación, incluyendo un lenguaje de programación orientado a objetos tal como Java, Smalltalk, C++ o similares y lenguajes de programación de procedimiento convencionales, tales como el lenguaje de programación "C" o lenguajes de programación similares. El código de programa puede ejecutarse totalmente en el ordenador del usuario, parcialmente en el ordenador del usuario, como paquete de software independiente, parcialmente en el ordenador del usuario y parcialmente en un ordenador remoto o totalmente en el ordenador remoto o servidor. En esta última situación, el ordenador remoto puede estar conectado al ordenador del usuario a través de cualquier tipo de red, incluyendo una red de área local (LAN) o una red de área ancha (WAN) o la conexión puede realizarse con un ordenador externo (por ejemplo, a través de Internet usando un proveedor de servicios de Internet).

Anteriormente se describen aspectos de la presente divulgación con referencia a ilustraciones de diagramas de flujo y/o diagramas de bloques de métodos, aparatos (sistemas) y productos de programa informático según realizaciones presentadas en esta divulgación. Se entenderá que cada bloque de las ilustraciones de diagramas de flujo y/o diagramas de bloques, y combinaciones de bloques en las ilustraciones de diagramas de flujo y/o diagramas de bloques, pueden implementarse mediante instrucciones de programa informático. Estas instrucciones de

programa informático pueden proporcionarse a un procesador de un ordenador de uso general, ordenador de uso especial u otro aparato de procesamiento de datos programable para producir una máquina, de tal manera que las instrucciones, que se ejecutan mediante el procesador del ordenador u otro aparato de procesamiento de datos programable, crean medios para implementar las funciones/acciones especificadas en el bloque o bloques del diagrama de flujo y/o diagrama de bloques.

Estas instrucciones de programa informático también pueden almacenarse en un medio legible por ordenador que puede dirigir un ordenador, otro aparato de procesamiento de datos programable u otros dispositivos para funcionar de una manera particular, de tal manera que las instrucciones almacenadas en el medio legible por ordenador producen un artículo de fabricación que incluye instrucciones que implementan la función/acción especificada en el bloque o los bloques del diagrama de flujo y/o diagrama de bloques.

Las instrucciones de programa informático también pueden cargarse en un ordenador, otro aparato de procesamiento de datos programable u otros dispositivos para provocar que se realice una serie de etapas operativas en el ordenador, otro aparato programable u otros dispositivos para producir un procedimiento implementado por ordenador de tal manera que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otro aparato programable proporcionan procedimientos para implementar las funciones/acciones especificadas en el bloque o los bloques del diagrama de flujo y/o diagrama de bloques.

El diagrama de flujo y los diagramas de bloques en las figuras ilustran la arquitectura, funcionalidad y funcionamiento de posibles implementaciones de sistemas, métodos y productos de programa informático según diversas realizaciones. Con respecto a esto, cada bloque en el diagrama de flujo o los diagramas de bloques puede representar un módulo, segmento o porción de código, que comprende una o más instrucciones ejecutables para implementar la(s) función/funciones lógica(s) especificada(s). También debe observarse que, en algunas implementaciones alternativas, las funciones indicadas en el bloque pueden producirse fuera del orden indicado en las figuras. Por ejemplo, dos bloques que se muestran en sucesión pueden ejecutarse, en realidad, de manera sustancialmente simultánea, o algunas veces los bloques pueden ejecutarse en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad implicada. También se observará que cada bloque de los diagramas de bloques y/o ilustración de diagrama de flujo, y combinaciones de bloques en los diagramas de bloques y/o ilustración de diagrama de flujo, puede implementarse mediante sistemas basados en hardware de uso especial que realizan las funciones o acciones especificadas, o combinaciones de hardware de uso especial e instrucciones informáticas.

A la vista de lo anterior, el alcance de la presente divulgación está determinado por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método de regulación de frecuencia de una red eléctrica operativamente acoplada con al menos un generador de turbina eólica, comprendiendo el método:

5 hacer funcionar el generador de turbina eólica para consumir potencia eléctrica a partir de la red eléctrica, en el que hacer funcionar el generador de turbina eólica para consumir potencia eléctrica comprende

aumentar el consumo de potencia con frecuencias de red crecientes si la frecuencia de red está por encima de una frecuencia umbral ($f_{nom}+f_1$) ubicada por encima de una frecuencia de red nominal (f_{nom}) para proporcionar regulación de frecuencia hacia abajo, y

10 reducir el consumo de potencia con frecuencias de red decrecientes si la frecuencia de red está por debajo de una frecuencia umbral ($f_{nom}-f_1$) ubicada por debajo de la frecuencia de red nominal (f_{nom}) para proporcionar regulación de frecuencia hacia arriba.
2. Método según la reivindicación 1, en el que hacer funcionar el generador de turbina eólica para consumir potencia eléctrica comprende hacer funcionar el generador de turbina eólica en un modo motor.
3. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que el generador de turbina eólica está incluido en una turbina eólica que tiene al menos un sistema auxiliar, comprendiendo el método además:

15 hacer funcionar el sistema auxiliar para aumentar su consumo de potencia eléctrica.
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además:

determinar una frecuencia de red de la red eléctrica,

20 en el que hacer funcionar el generador de turbina eólica para consumir potencia eléctrica se realiza en respuesta a determinar que la frecuencia de red supera un valor umbral.
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además:

determinar condiciones de viento en el generador de turbina eólica,

25 en el que hacer funcionar el generador de turbina eólica para consumir potencia eléctrica se realiza cuando las condiciones de viento no son suficientes para que el generador de turbina eólica genere una salida de potencia umbral mínima.
6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además:

hacer funcionar al menos uno de la pluralidad de generadores de turbina eólica para consumir potencia eléctrica, aumentando de ese modo una capacidad de tasa de variación gradual de una central eólica que comprende una pluralidad de generadores de turbina eólica.
- 30 7. Método según 6, en el que el al menos un generador de turbina eólica está en un estado apagado debido a condiciones de viento en la central eólica.
8. Disposición de control para proporcionar regulación de frecuencia de una red eléctrica operativamente acoplada con uno o más generadores de turbina eólica, comprendiendo la disposición de control:

35 un procesador informático acoplado con al menos un primero de los generadores de turbina eólica y configurado para hacer funcionar el primer generador de turbina eólica para consumir potencia eléctrica a partir de la red eléctrica, en la que la disposición de control está dispuesta para hacer funcionar el primer generador de turbina eólica para

40 aumentar su consumo de potencia con frecuencias de red crecientes si la frecuencia de red está por encima de una frecuencia umbral ($f_{nom}+f_1$) ubicada por encima de una frecuencia de red nominal (f_{nom}) para proporcionar regulación de frecuencia hacia abajo, y para

reducir su consumo de potencia con frecuencias de red decrecientes si la frecuencia de red está por debajo de una frecuencia umbral ($f_{nom}-f_1$) ubicada por debajo de la frecuencia de red nominal (f_{nom}) para proporcionar regulación de frecuencia hacia arriba.
- 45 9. Disposición de control según la reivindicación 8, en la que hacer funcionar el primer generador de turbina eólica para consumir potencia eléctrica comprende señalizar el procesador informático al primer generador de turbina eólica que funcione en un modo motor.
10. Disposición de control según la reivindicación 8 ó 9, en la que el primer generador de turbina eólica está incluido en una turbina eólica que tiene al menos un sistema auxiliar, en la que el procesador informático

está configurado además para hacer funcionar el sistema auxiliar para aumentar su consumo de potencia eléctrica.

11. Disposición de control según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, que comprende además:

5 un módulo de determinación acoplado con el procesador informático y configurado para determinar una frecuencia de red de la red eléctrica,

en la que el procesador informático está configurado para hacer funcionar el generador de turbina eólica para consumir potencia eléctrica en respuesta a determinar que la frecuencia de red supera un valor umbral.

12. Disposición de control según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, que comprende además:

10 un módulo de determinación acoplado con el procesador informático y configurado para determinar condiciones de viento en el primer generador de turbina eólica,

en la que el procesador informático está configurado para hacer funcionar el generador de turbina eólica para consumir potencia eléctrica cuando las condiciones de viento no son suficientes para que el primer generador de turbina eólica genere una salida de potencia umbral mínima.

15

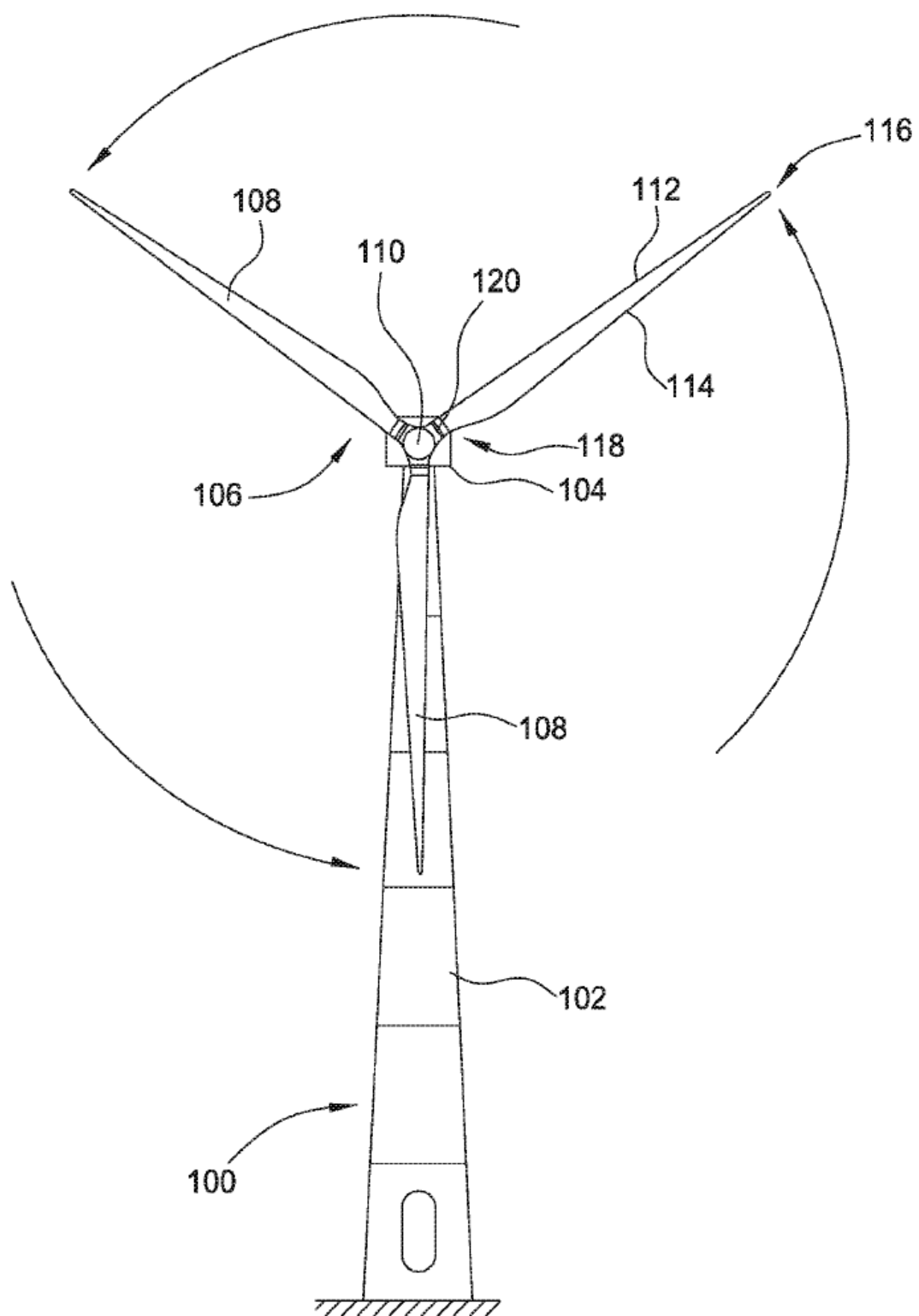


FIG. 1

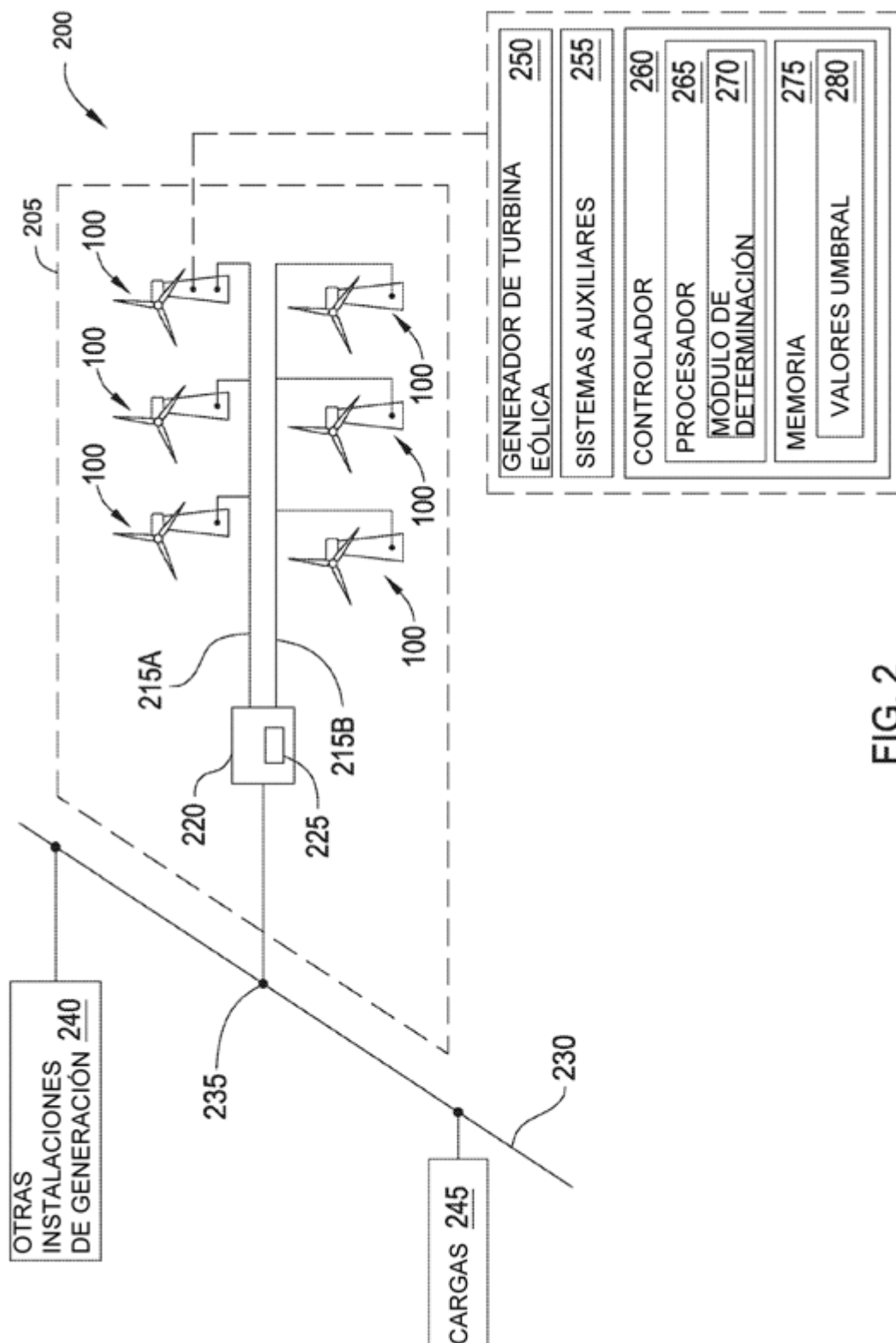


FIG. 2

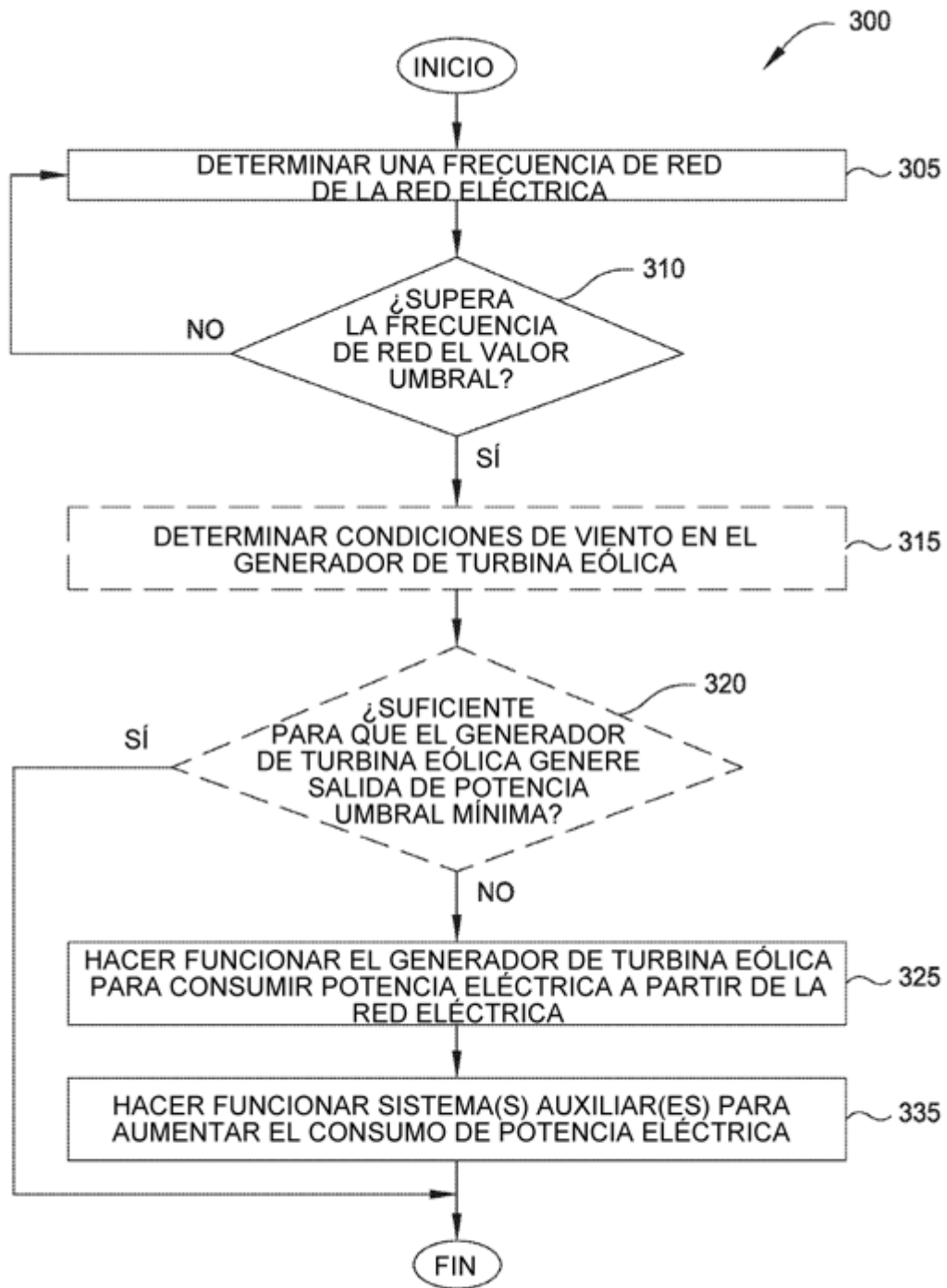


FIG. 3

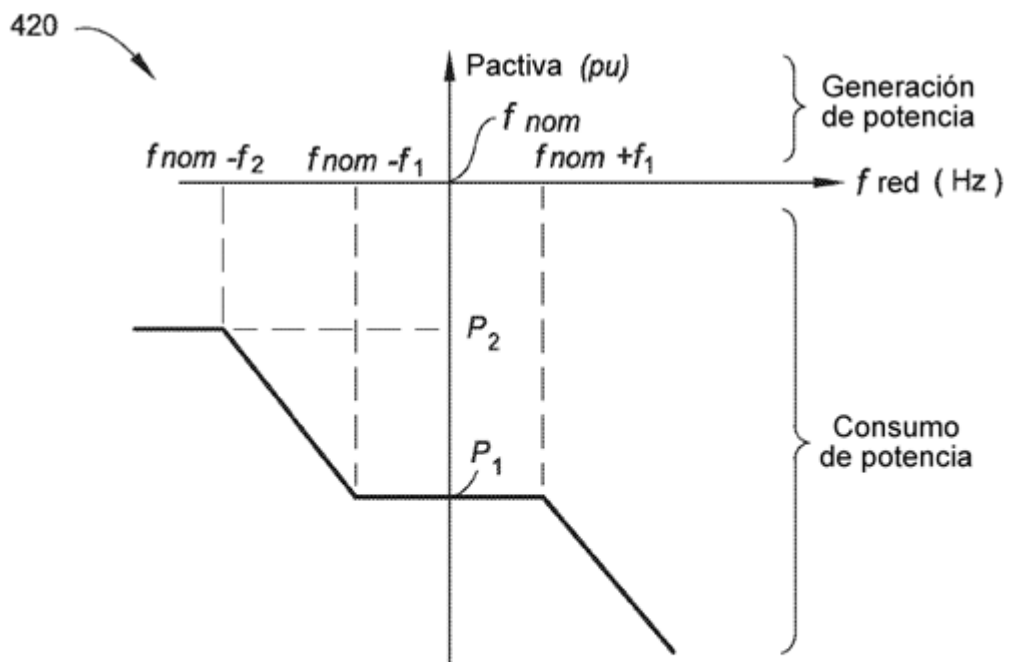
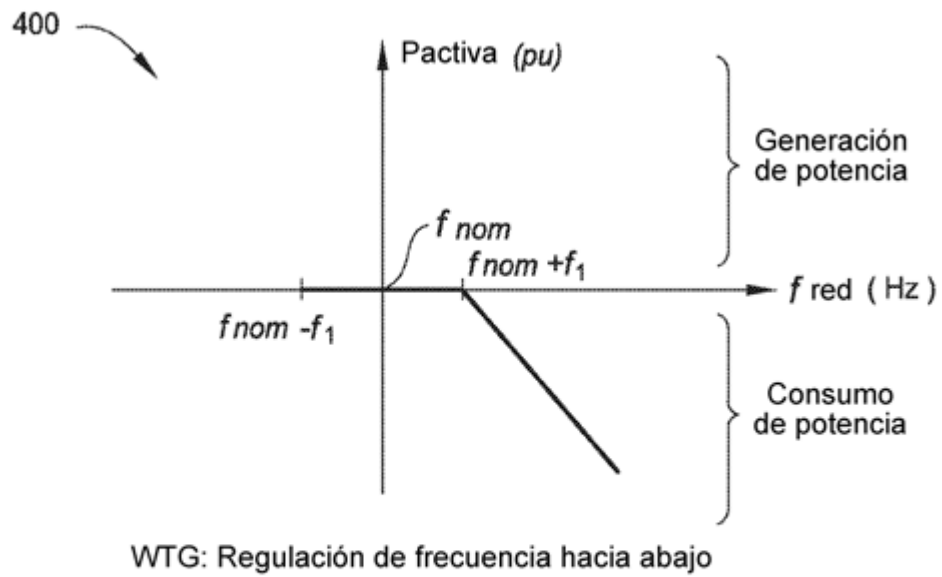
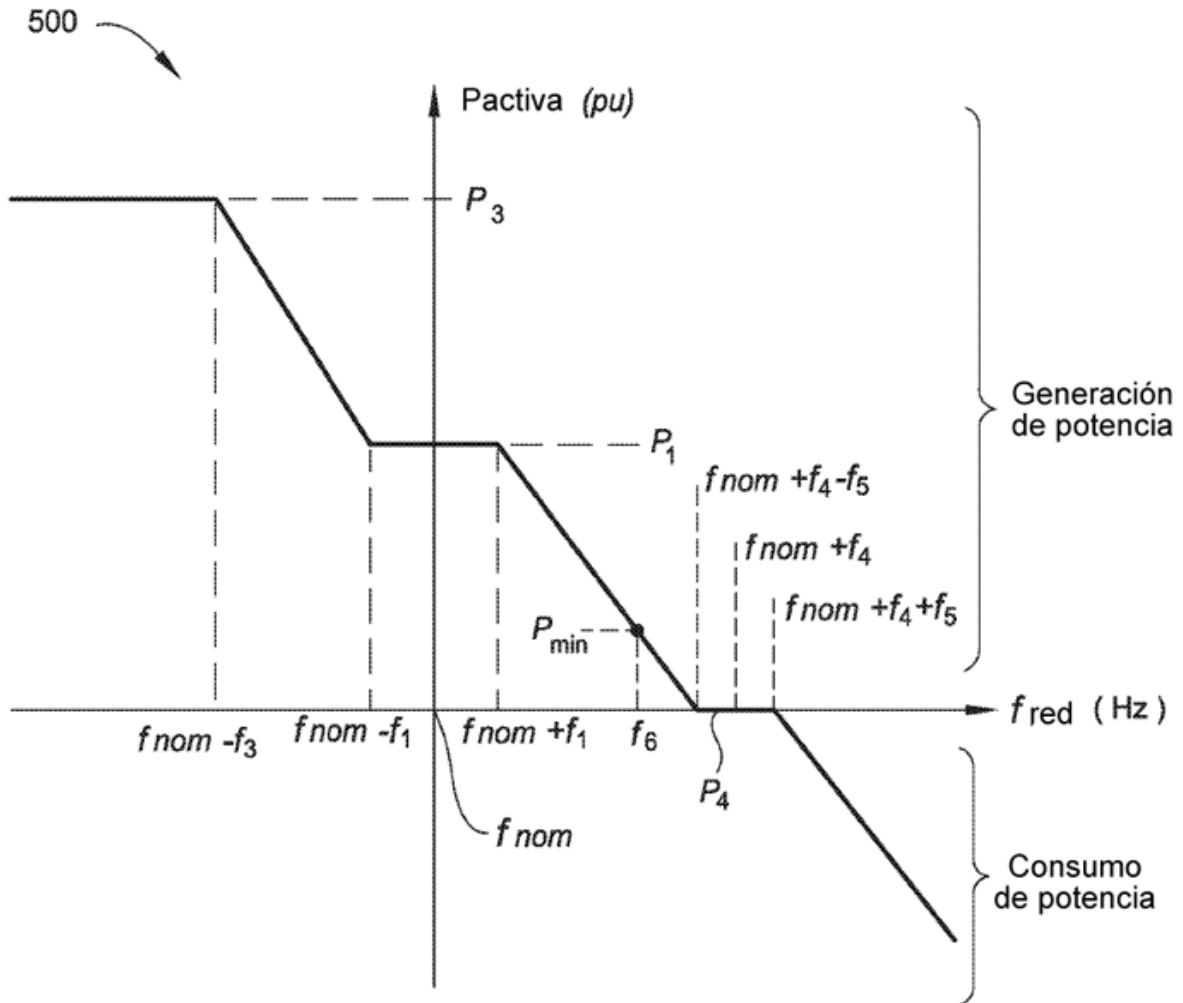


FIG. 4



WTG: Regulación de frecuencia hacia arriba y hacia abajo

FIG. 5

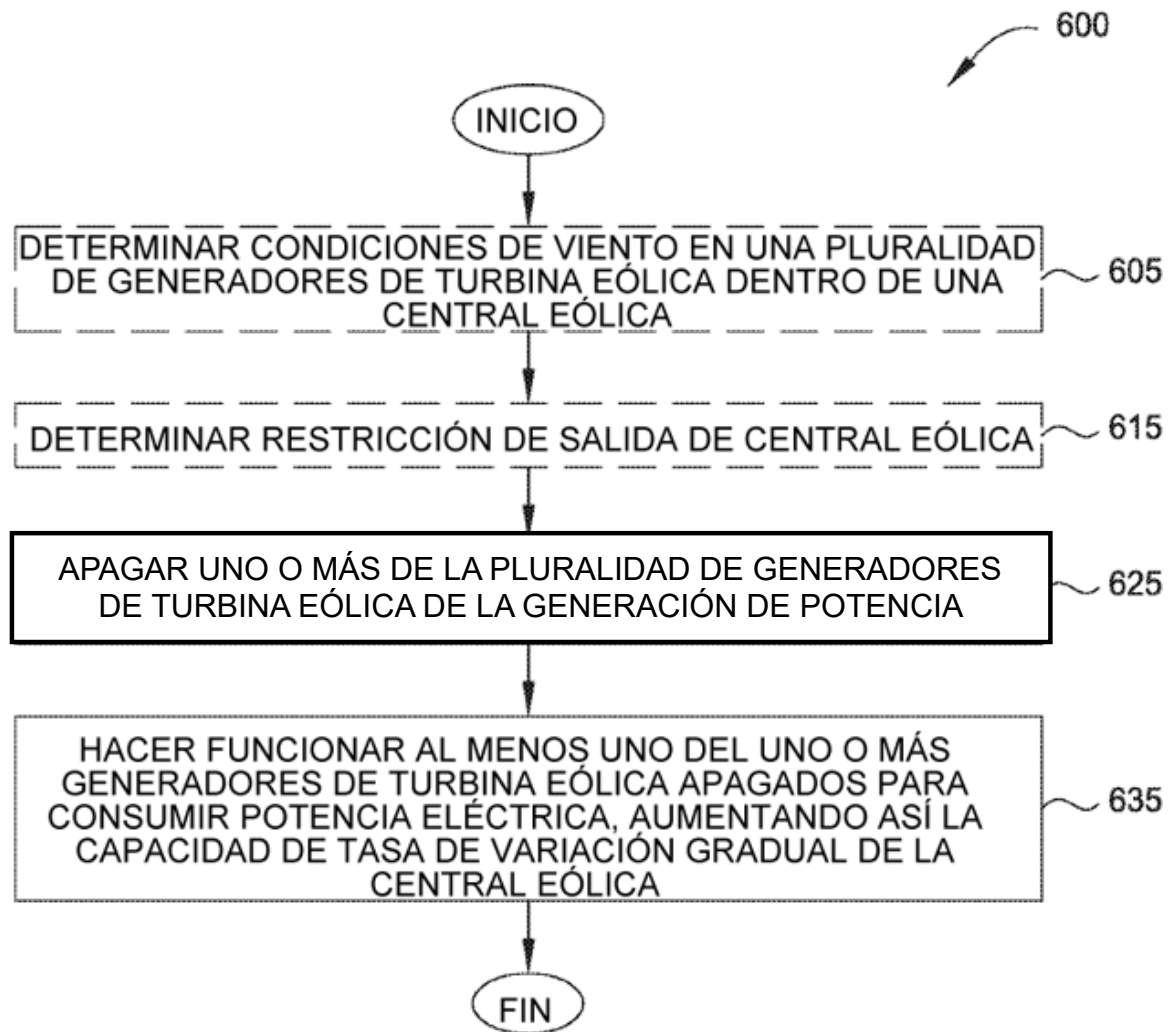


FIG. 6

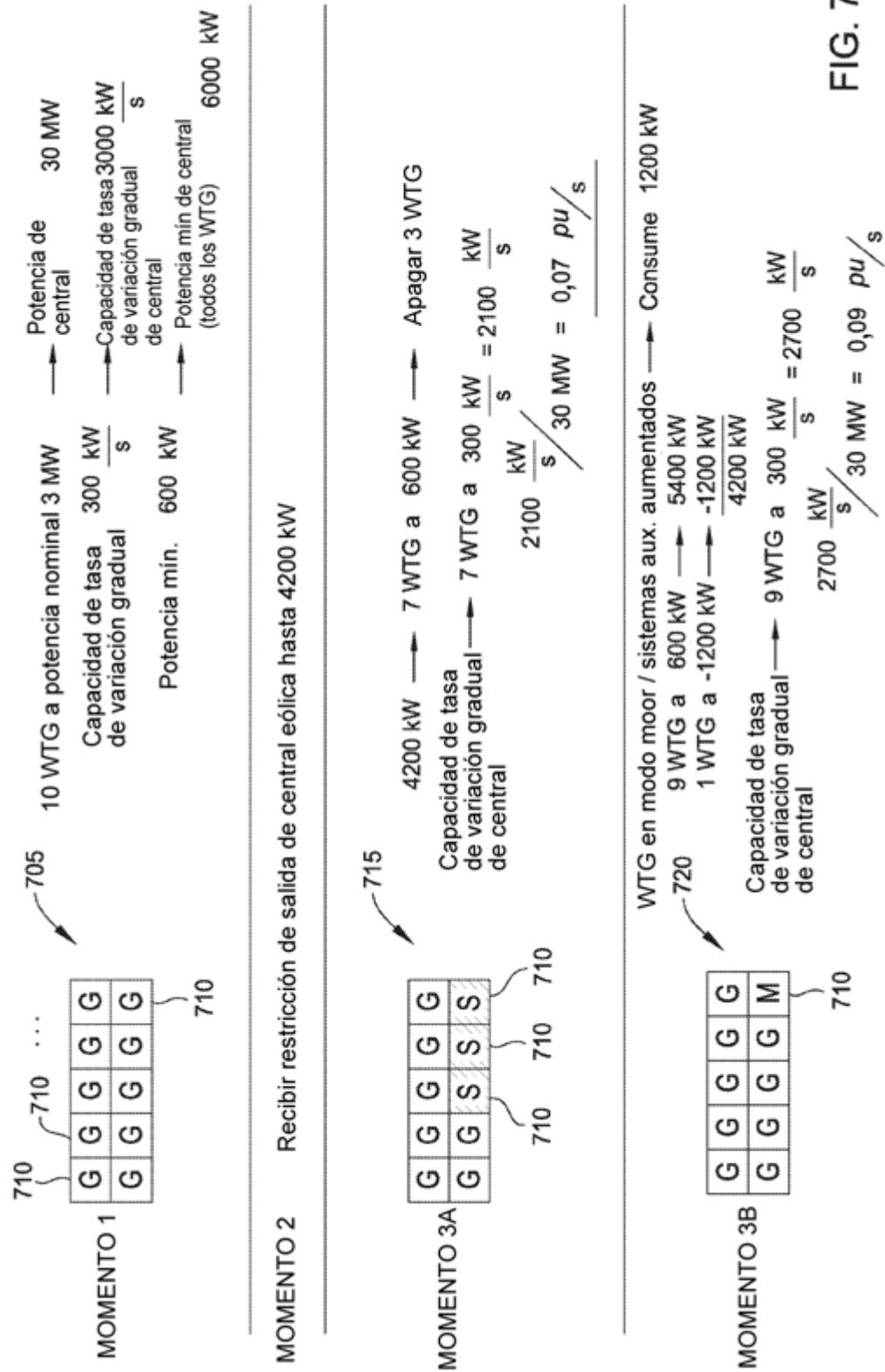


FIG. 7

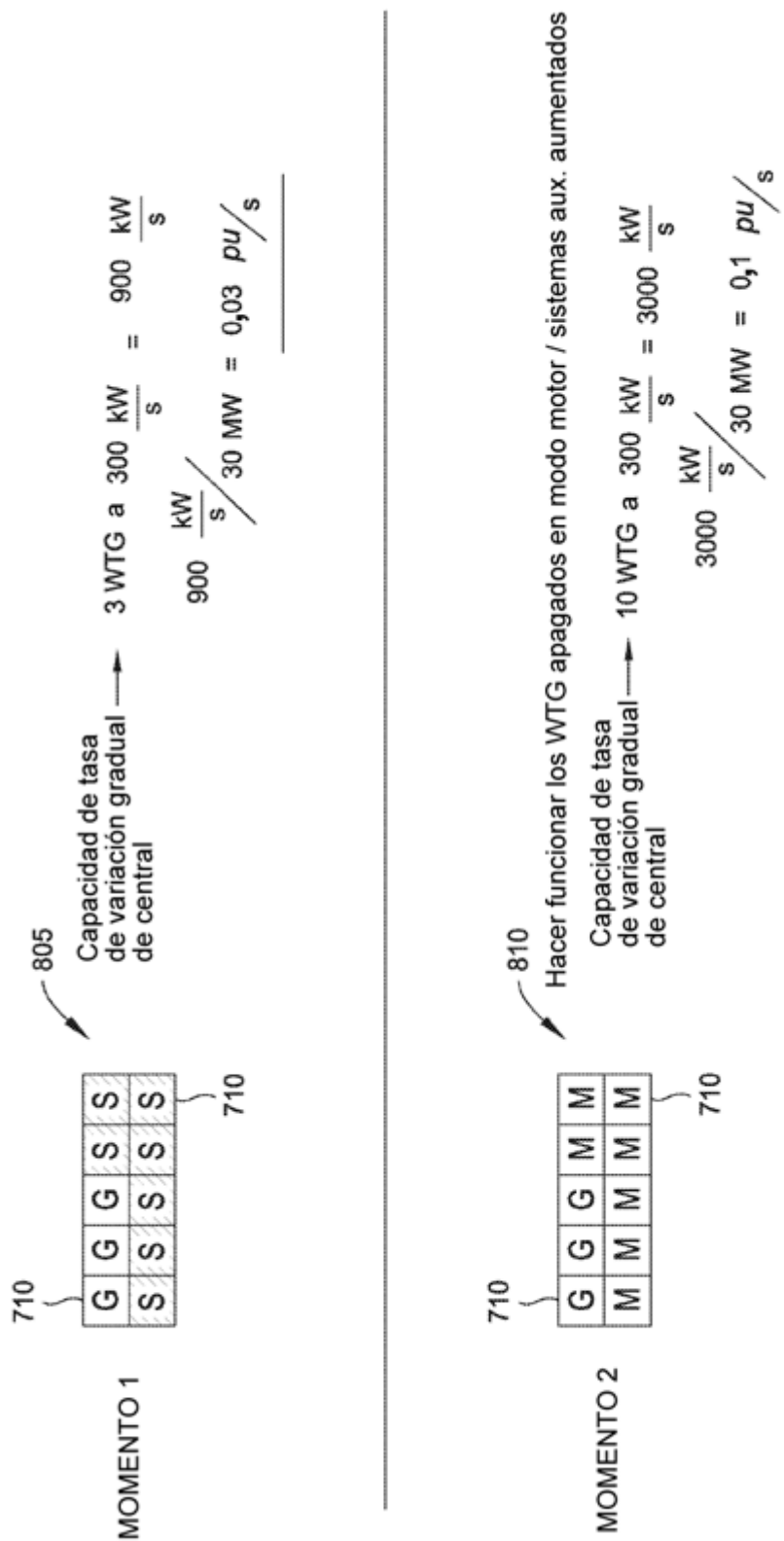


FIG. 8