

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 887 575**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.09.2016** **PCT/DK2016/050302**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.03.2017** **WO17050338**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.09.2016** **E 16770203 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.09.2021** **EP 3353420**

54 Título: **Cambios de salida de potencia mediante variación de salida de potencia por debajo del régimen nominal y velocidad de rotor por debajo del régimen nominal**

30 Prioridad:

22.09.2015 DK 201570605

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

23.12.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KJÆR, MARTIN ANSBJERG;
HERBSLEB, EIK;
SØRENSEN, MARTIN MØLLER y
THOMSEN, JESPER SANDBERG**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 887 575 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

Cambios de salida de potencia mediante variación de salida de potencia por debajo del régimen nominal y velocidad de rotor por debajo del régimen nominal

Antecedentes

Campo de la invención

Las realizaciones presentadas en esta divulgación generalmente se refieren a técnicas para variaciones de potencia rápidas para generadores de turbina eólica que se hacen funcionar con una salida de potencia por debajo del régimen nominal y una velocidad de rotor por debajo del régimen nominal.

Descripción de la técnica relacionada

Las redes modernas de generación y distribución de potencia dependen cada vez más de fuentes de energía renovables, tales como generadores de turbina eólica. En algunos casos, los generadores de turbina eólica pueden sustituirse por generadores convencionales basados en combustibles fósiles. Más allá de simplemente generar y entregar potencia eléctrica, los generadores de turbina eólica son responsables de contribuir a la estabilidad de la red a través de la regulación de frecuencia. Sin embargo, variaciones naturales en las condiciones de viento pueden afectar a la capacidad de las turbinas eólicas para entregar potencia de manera predecible y regular la frecuencia de red. Adicionalmente, las condiciones de viento a veces pueden ser inadecuadas para generar potencia.

El documento WO2015/135549 da a conocer un método para controlar una turbina eólica donde la potencia de salida de la turbina se controla según un modo de funcionamiento de paso normal en función de la velocidad de viento si la velocidad de viento es menor que un primer umbral de velocidad de viento de nivel superior, y según un modo modificado de funcionamiento si la velocidad de viento excede la primera velocidad de viento de umbral de nivel superior.

Sumario

Una realización de la presente divulgación es un método según la reivindicación 1 y la disposición de control asociada según la reivindicación 10 para controlar una salida de potencia por debajo del régimen nominal de un generador de turbina eólica, donde el generador de turbina eólica está asociado con un límite superior de tasa de variación de potencia predeterminado y que se hace funcionar con una velocidad de rotor por debajo del régimen nominal. El método incluye variaciones, tras recibir un nivel de potencia objetivo, la salida de potencia desde un nivel de potencia inicial hasta el nivel de potencia objetivo durante un intervalo de variación. Durante una primera parte del intervalo de variación, la salida de potencia se varía a una primera tasa de variación de potencia menor que el límite superior de tasa de variación de potencia. El método incluye además variar la velocidad de rotor a un valor de velocidad de rotor predeterminado simultáneamente con la variación de la salida de potencia durante la primera parte del intervalo de variación. La primera tasa de variación de potencia se determina de manera que una diferencia entre la salida de potencia y el nivel de potencia objetivo se hace disminuir uniformemente durante la totalidad del intervalo de variación.

Breve descripción de los dibujos

Para que puedan entenderse detalladamente las características mencionadas anteriormente de la presente descripción, una descripción más particular de la divulgación, anteriormente resumida brevemente, puede tenerse por referencia a realizaciones, algunas de las cuales se ilustran en los dibujos adjuntos. Sin embargo debe observarse que los dibujos adjuntos ilustran solo realizaciones típicas de esta divulgación y, por lo tanto, no deben considerarse limitantes de su alcance, para la divulgación pueden admitir otras realizaciones igualmente efectivas.

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

La figura 2 ilustra una planta de energía eólica conectada operativamente con una red eléctrica, según una realización.

La figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra una disposición de control para una planta de energía eólica que comprende una pluralidad de turbinas eólicas, según una realización.

La figura 4 es un método para controlar una salida de potencia por debajo del régimen nominal de un generador de turbina eólica, según una realización.

La figura 5 es un método para variar la velocidad de rotor de un generador de turbina eólica simultáneamente con la variación de la salida de potencia del generador de turbina eólica, según una realización.

La figura 6 incluye gráficos que ilustran el funcionamiento de un generador de turbina eólica con y sin variaciones simultáneas de la velocidad de rotor con la salida de potencia, según una realización.

La figura 7 es un método para variar la salida de potencia de un generador de turbina eólica desde un nivel de potencia inicial hasta un nivel de potencia objetivo durante un intervalo de variación, según una realización.

5 La figura 8 es un método para determinar una primera tasa de variación de potencia que va a aplicarse por un generador de turbina eólica durante una variación simultánea de velocidad de rotor, según una realización.

La figura 9 incluye gráficos que ilustran el funcionamiento de una función de limitación de salida de potencia con un parámetro de aceleración predeterminado asociado, según una realización.

10 Para facilitar la comprensión, se han usado números de referencia idénticos, donde ha sido posible, para designar elementos idénticos que son comunes a las figuras. Se contempla que los elementos dados a conocer en una realización pueden utilizarse beneficiosamente en otras realizaciones sin mención específica.

15 Descripción de realizaciones de ejemplo

Los códigos de red requieren cada vez más la capacidad de turbinas eólicas conectadas, a menudo denominadas generadores de turbina eólica (WTG), para proporcionar una capacidad de variación de potencia rápida, presentando
20 varios desafíos significativos para el diseño y el funcionamiento de WTG. Por ejemplo, los códigos de red pueden requerir una variación rápida desde un nivel de potencia por debajo del régimen nominal, por ejemplo, tan bajo como un 10-12 % de potencia nominal o menor, cuando se soporta por las condiciones de viento actuales. Funcionar a bajos niveles de potencia es generalmente un desafío para los WTG. La potencia producida por un WTG está relacionada con su par de fuerzas y velocidad de rotación según:

$$25 \quad P = \tau \times \omega \quad (1)$$

donde P representa potencia, τ representa el par de fuerzas, y ω representa la velocidad de rotación. Durante el funcionamiento de baja potencia de un WTG, cambios en la velocidad de viento (por ejemplo, que afectan al valor de ω) dan como resultado cambios con respecto al par de fuerzas para casos en los que el convertidor mantiene un nivel
30 de producción de potencia estable. Si el valor de par de fuerzas disminuye por debajo de cero, puede dar como resultado un evento de inversión de par de fuerzas de engranaje, que dañe la caja de engranajes y reduzca su vida útil de funcionamiento. Generalmente, para evitar inversiones de par de fuerzas de engranaje durante el funcionamiento de baja potencia de un WTG, la velocidad de rotor se reduce mientras que el nivel de par de fuerzas promedio se eleva para un nivel de potencia dado.

35 A niveles de potencia bajos, las palas del WTG por debajo del régimen nominal se regulan en paso hacia fuera con el fin de permitir que la mayor parte del viento pase a través de las palas con una pérdida de energía mínima. Cuando posteriormente se da instrucciones al WTG de realizar una variación de potencia rápida desde el nivel de potencia bajo, las palas de WTG se regulan en paso hacia un ángulo de pala óptimo para la velocidad de rotación actual. Sin embargo, debido a que la velocidad de rotación asociada con el nivel de potencia bajo es significativamente menor que lo que es aerodinámicamente óptimo (basándose en las condiciones de viento actuales), el rotor no puede entregar el nivel de potencia solicitado al alcanzar el ángulo de pala óptimo. En última instancia, el WTG alcanza un límite para su capacidad de producción de potencia, de modo que cuanto más potencia se extrae del rotor para la variación de potencia rápida, se disminuye la velocidad de rotación del rotor. Como resultado, el controlador de WTG reduce la
45 carga sobre el WTG (por ejemplo, haciendo funcionar el WTG en un modo de funcionamiento de carga parcial distinto), deteniendo el proceso de variación de potencia de modo que pueda recuperarse la velocidad de rotación del rotor. Durante el funcionamiento de carga reducida, la salida de potencia se reduce en primer lugar mientras que el rotor se acelera a su valor nominal, a continuación, la salida de potencia se hace variar lentamente al valor de potencia objetivo. A medida que aumenta la velocidad de rotor, la eficiencia aerodinámica del WTG se mejora gradualmente. Mientras
50 que el WTG alcanza en última instancia el nivel de potencia objetivo, en muchos casos el intervalo de variación (es decir, el tiempo) para alcanzar el nivel de potencia objetivo es demasiado largo y no cumple con los requisitos de código de red y/o la producción de potencia solicitada.

Una posible solución para variar la potencia al nivel de potencia objetivo sin disminuir la salida de potencia y/o entrar
55 en un funcionamiento de carga reducida es aumentar la velocidad de rotación del rotor antes de recibir una orden de variación rápida. Sin embargo, un esquema de este tipo introduce un desgaste adicional en la caja de engranajes y puede ser un proceso relativamente ineficiente.

60 Generalmente, realizaciones de la divulgación están dirigidas a técnicas para proporcionar una variación de potencia rápida de los WTG que funcionan con una salida de potencia por debajo del régimen nominal y una velocidad de rotor por debajo del régimen nominal a un nivel de potencia objetivo. La potencia por debajo del régimen nominal y la velocidad de rotor por debajo del régimen nominal se refieren a hacer funcionar el WTG a menos de la capacidad nominal correspondiente por cualquier número de razones. En algunos casos, el funcionamiento por debajo del régimen nominal de los WTG se realiza con el fin de cumplir con los requisitos de código de red, a pesar de que las
65 condiciones de viento sean favorables para la producción de potencia adicional. En algunas realizaciones, durante una primera parte del intervalo de variación, la salida de potencia se hace variar a una tasa de variación de potencia

menor que un límite superior de tasa de variación de potencia para el WTG. Al menos parte de la energía conservada por la variación de potencia a la tasa de variación de potencia reducida se usa para aumentar simultáneamente la velocidad de rotor y aumentar de ese modo la eficiencia aerodinámica del WTG. Al usar las técnicas comentadas en el presente documento, el WTG puede proporcionar una variación de potencia rápida con aumentos de potencia uniformes hacia el nivel de potencia objetivo sin tener que entrar en un funcionamiento de carga reducida.

En algunas realizaciones, la disposición de control para el WTG determina un valor de velocidad de rotor mínimo que se necesita para alcanzar el nivel de potencia objetivo, que puede basarse en mediciones de condiciones de viento actuales en el WTG. Durante la primera parte del intervalo de variación, la velocidad de rotor se aumenta al valor de velocidad de rotor mínimo, mientras que la salida de potencia se hace variar con una tasa de variación de potencia reducida. En algunos casos, la tasa de variación de potencia reducida puede ser sustancialmente cero durante la primera parte. Tras alcanzar el valor de velocidad de rotor mínimo, la salida de potencia se hace variar a una tasa de variación de potencia mayor.

En algunas realizaciones, la disposición de control proporciona una variación de potencia rápida inicial a un primer nivel de potencia intermedio predeterminado antes de la primera parte del intervalo de variación, en el que la salida de potencia se hace variar a una tasa de variación de potencia reducida. Durante la primera parte del intervalo de variación, la velocidad de rotor se incrementa simultáneamente hasta un valor de velocidad de rotor predeterminado. En algunas realizaciones, la salida de potencia se varía durante la primera parte desde el primer nivel de potencia intermedio hasta un segundo nivel de potencia intermedio predeterminado, y la salida de potencia se varía después hasta el nivel de potencia objetivo desde el segundo nivel de potencia intermedio.

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 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. Tal como se muestra, 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 uno, dos, cuatro, cinco o más palas. La pala 108 (o superficie aerodinámica) normalmente tiene 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 estar conectadas al buje 110 usando cojinetes de paso 120 de manera que cada pala 108 pueda hacerse rotar alrededor de su eje longitudinal para ajustar el paso de la pala. La figura 2 ilustra una planta de energía eólica conectada operativamente con una red eléctrica, según una realización. En general, una planta de energía eólica también puede denominarse parque eólico o granja eólica. En la disposición representada 200, una planta de energía eólica 205 incluye una pluralidad de turbinas eólicas 100 conectadas operativamente con una red eléctrica 210 en un punto de acoplamiento común (o PCC) 215. En algunas realizaciones, las turbinas eólicas 100 de la planta de energía eólica 205 están acopladas con una subestación 230 que incluye un controlador de planta de energía eólica (PPC) 235. En este caso, la salida de la subestación 230 está acoplada con la red eléctrica 210, y la potencia eléctrica generada por las turbinas eólicas 100 se transporta en una o más conexiones 240 a la subestación 230. En una realización alternativa, el controlador de planta de energía eólica está ubicado en una ubicación alternativa dentro de la disposición 200, tal como con una de las turbinas eólicas 100. En una realización alternativa, una o más turbinas eólicas 100 pueden entregar potencia eléctrica directamente a la red eléctrica 210 sin agruparse y/o dirigirse a través de la subestación 230. El controlador de planta de energía eólica 235 está acoplado comunicativamente con cada una de las turbinas eólicas 100 (por ejemplo, con un controlador a nivel de turbina eólica respectivo 245) a través de una o más conexiones 250.

La red eléctrica 210 representa cualquier red de transmisión y/o distribución eléctrica adecuada, que puede hacerse funcionar a una o más tensiones. La red eléctrica 210 generalmente incluye un número de líneas de transmisión, transformadores, subestaciones, etc.

Generalmente, diferencias en la cantidad de potencia eléctrica generada (por ejemplo, producida por la planta de energía eólica 205 y por las demás instalaciones de generación 220) y la cantidad de potencia eléctrica demandada por las cargas (por ejemplo, cargas 225) en una red eléctrica provocan que la frecuencia de red se desvíe de su valor previsto o nominal. Valores típicos de frecuencia de red nominal son 60 hercios (Hz) en los Estados Unidos y 50 Hz en Europa. Un ejemplo de desviación de frecuencia de red se produce cuando la demanda de potencia excede la potencia generada, la diferencia de potencia puede extraerse de la energía cinética del generador de turbina eólica, provocando que el rotor de turbina eólica (por ejemplo, el rotor 106 de la figura 1) se ralentice y, por consiguiente, disminuya la frecuencia de red. Por el contrario, cuando la generación de potencia excede la cantidad de demanda de potencia, la frecuencia de red puede aumentar. En algunos casos, los generadores de turbina eólica pueden configurarse para funcionar dentro de un intervalo de frecuencia predeterminado, tal como ± 1 % de la frecuencia de red nominal, antes de desconectar o realizar otros procedimientos de regulación para restaurar la frecuencia de red dentro del intervalo de frecuencia predeterminado.

Cada turbina eólica (WTG) 100 incluye un generador eléctrico (no mostrado) configurado para convertir la energía mecánica del rotor de turbina eólica 106 en una o más fases de potencia eléctrica, que finalmente se entrega a la red

eléctrica 210 y las cargas 225 conectadas a la misma. En diversas realizaciones, los generadores de turbina eólica producen potencia eléctrica basándose en señales de control proporcionadas por el controlador de planta de energía eólica 235 y/o los controladores de generador de turbina eólica 245. Los generadores eléctricos también pueden proporcionar señales de retroalimentación y otra información al controlador de planta de energía eólica 235 usando las conexiones 240, 250.

La figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra una disposición de control para una planta de energía eólica que comprende una pluralidad de turbinas eólicas, según una realización. La disposición de control 300 generalmente está dispuesta en la planta de energía eólica 205 (figura 2), y puede distribuirse entre una o más turbinas eólicas y/o una subestación. En otra realización, uno o más componentes de la disposición de control 300 están dispuestos de manera remota (es decir, fuera del área geográfica ocupada por la planta de energía eólica 205). El controlador de planta de energía eólica (PPC) 235 está acoplado comunicativamente con una pluralidad de controladores de generador de turbina eólica (WTG) 245_{1-N}. Cada uno de los controladores de WTG 245_{1-N}, (genérica o colectivamente, "controlador(es) 245") está acoplado con uno o más generadores de turbina eólica correspondientes que están configurados para suministrar potencia eléctrica a una red eléctrica asociada. Mientras que la disposición de control 300 se representa como que tiene una implementación de control distribuido, una implementación alternativa puede consolidar toda la funcionalidad de la disposición de control 300 en un solo controlador.

El controlador de WPP (PPC) 235 incluye un procesador 305 y una memoria 310. Cada uno de los controladores de WTG 245 puede incluir un procesador 340 y una memoria 345. Los procesadores 305, 340 puede tener cualquier forma adecuada, tal como un microprocesador de propósito general, un controlador, un circuito integrado de aplicación específica (ASIC), etc. Las memorias 310, 345 pueden incluir una variedad de medios legibles por ordenador seleccionados por su tamaño, rendimiento relativo, u otras capacidades: medios volátiles y/o no volátiles, medios retirables y/o no retirables, etc.

Tal como se muestra, el controlador de planta de energía eólica 235 incluye un módulo de control de producción de potencia 315 (o "módulo de producción de potencia", "módulo de potencia"). El controlador de WTG 245 incluye un módulo de control de paso 350, un módulo de medición 355 y un módulo de cálculo 360.

El módulo de potencia 315 funciona para generar puntos de referencia 320 u otras señales de demanda adecuadas para controlar la potencia producida por cada uno de los WTG en la WPP. Los puntos de referencia 320 corresponden a la producción de potencia para las WTG a partir de la potencia que está disponible en el viento (es decir, basándose en las condiciones de viento actuales). El módulo de potencia 315 genera los puntos de referencia 320 basándose en una señal de demanda de potencia a nivel de WPP recibida o generada, tal como un punto de referencia de salida de potencia de WPP, según cualquier técnica adecuada.

El controlador de WTG 245 incluye un módulo de control de paso 350, un módulo de medición 355 y un módulo de cálculo 360. El módulo de control de paso 350 está configurado para regular el paso de las palas de la turbina eólica hacia dentro y fuera del viento, basándose en las condiciones de viento y basándose en los puntos de referencia 320 u otras señales de control proporcionadas por el PPC 235. La tasa de ajuste del paso de pala generalmente varía con la tasa de variación de potencia del WTG, y puede estar limitada en algunos casos por razones estructurales.

El módulo de medición 355 está configurado para acoplarse con uno o más dispositivos de sensor para adquirir mediciones de las condiciones de viento, producción de potencia de WTG, y/u otros parámetros de funcionamiento de WTG. Por ejemplo, los dispositivos de sensor pueden incluir un anemómetro para medir la velocidad de viento en el WTG, sensores de tensión y/o corriente para medir la salida del WTG, sensores de efecto Hall u otros sensores magnéticos u ópticos para medir una velocidad de rotación del rotor, etc. El módulo de cálculo 360 está configurado para calcular uno o más parámetros de funcionamiento 365 para el funcionamiento del WTG, basándose en los datos de medición adquiridos por el módulo de medición 355 y/o basándose en otros valores de los parámetros de funcionamiento 365.

El controlador de WTG 245 mantiene o almacena un número de parámetros de funcionamiento diferentes 365 que se usan para controlar el funcionamiento del WTG. Los parámetros de funcionamiento 365 pueden actualizarse periódicamente a una o más tasas de actualización. Aunque no se representa explícitamente, pueden incluirse parámetros adicionales en los parámetros de funcionamiento 365 para controlar adecuadamente el WTG. Además, algunos de los parámetros pueden incluirse en otra parte en la disposición de control 300, tal como en la memoria 310 del controlador de WPP 235 (y comunicarse al controlador de WTG 245). Los parámetros de funcionamiento 365 incluyen un nivel de potencia objetivo 370 para el WTG, que puede basarse en los puntos de referencia 320 proporcionados por el controlador de WPP 235. También puede mantenerse un nivel de potencia objetivo correspondiente para la producción de potencia de WPP en su conjunto. Los parámetros de funcionamiento 365 incluyen un límite superior de tasa de variación de potencia 375, que puede representar un valor predeterminado asociado con la WTG o un parámetro que se introduce en el controlador de WTG 245 o el controlador de WPP 235.

Se describirán varios de los parámetros de funcionamiento 365 con respecto a ambas figuras 3 y 9. El gráfico 900 de la figura 9 representa el funcionamiento de un WTG usando una función de limitación de salida de potencia 395 en la que el parámetro de aceleración ΔP_{acel} 383 se añade al valor de la salida de potencia P_{salida} 384 sin interpolación, y el

gráfico 920 representa el funcionamiento del WTG usando un parámetro de aceleración interpolado ΔP_{acel} 383. Cada uno de los gráficos 900, 920 ilustra la variación de potencia del WTG desde un nivel de potencia inicial en el tiempo t_0 y después de recibir un nivel de potencia objetivo en el tiempo t_1 . En cada uno de los gráficos 900, 920, el nivel de potencia objetivo 370 es la potencia disponible $P_{disponible}$ 380, aunque el nivel de potencia objetivo 370 puede ser cualquier nivel de potencia constante o variable en el tiempo alternativo adecuado. En el gráfico 900, la salida de potencia P_{salida} 384 del WTG alcanza el nivel de potencia objetivo en el tiempo t_4 , correspondiente a un intervalo de variación de $(t_4 - t_1)$. En el gráfico 920, la salida de potencia P_{salida} 384 del WTG alcanza el nivel de potencia objetivo en el tiempo t_5 , correspondiente a un intervalo de variación más largo de $(t_5 - t_1)$. Mientras que el intervalo de variación del gráfico 920 es más largo que el del gráfico 900, cada uno de los intervalos de variación es generalmente más corto que el caso en el que la salida de potencia se varía a un límite superior de tasa de variación de potencia y el WTG entra posteriormente en un funcionamiento de carga reducida para recuperar la velocidad de rotación del rotor.

La potencia disponible $P_{disponible}$ 380 representa una potencia máxima calculada que está disponible en las condiciones de viento actuales, que puede determinarse o estimarse por el módulo de cálculo 360 basándose en datos de medición adquiridos usando el módulo de medición 355. La potencia máxima para una velocidad de rotación dada $P_{salida,m\acute{a}x}|\omega$ 381 representa la cantidad de potencia que puede producirse a través de la regulación de paso de pala, sin aumentar la eficiencia aerodinámica del WTG a través del aumento de la velocidad de rotor. Los valores de $P_{salida,m\acute{a}x}|\omega$ 381 también pueden calcularse por el módulo de cálculo 360, y pueden calcularse de manera que el WTG no entre en un funcionamiento de carga reducida o de otro modo deje de variar la potencia durante el intervalo de variación.

La salida de potencia limitada $P_{salida,lim}$ 382 es una señal que indica cuándo la tasa de variación de potencia estará limitada desde el límite superior de tasa de variación de potencia 375. Generalmente, al menos parte de la energía que se conserva al variar la salida de potencia del WTG a una tasa de variación de potencia reducida se usa para aumentar simultáneamente la velocidad de rotor, aumentando de ese modo la eficiencia aerodinámica del WTG y garantizando que la salida de potencia continúe se aproxime al nivel de potencia objetivo 370 sin entrar en un funcionamiento de carga reducida. Valores de la salida de potencia limitada $P_{salida,lim}$ 382 pueden calcularse por el módulo de cálculo 360 basándose en una función de limitación de salida de potencia predeterminada 395. La función de limitación de salida de potencia 395 puede basarse en un número de parámetros de funcionamiento diferentes 365, tales como valores de salida de potencia P_{salida} 384 y $P_{salida,m\acute{a}x}|\omega$ 381. La tasa de variación de potencia definida por la función de limitación de salida de potencia 395 puede basarse además en un parámetro de aceleración predeterminado ΔP_{acel} 383, que puede ser un valor por defecto u otro valor que se introduce en el controlador de WTG 245. En una realización (por ejemplo, el gráfico 900), la función de limitación de salida de potencia 395 comprende una suma del valor actual de la salida de potencia P_{salida} 384 y un término que incluye el parámetro de aceleración predeterminado ΔP_{acel} 383, tales como:

$$P_{salida,lim} = P_{salida} + \Delta P_{acel} \quad (2)$$

En una realización (por ejemplo, el gráfico 920), el término comprende el parámetro de aceleración predeterminado multiplicado por un término de interpolación basándose en un valor de potencia disponible y un valor de salida de potencia máximo para una velocidad de rotor actual, tales como:

$$P_{salida,lim} = P_{salida} + \Delta P_{acel} \left[\frac{P_{disponible} - P_{salida,m\acute{a}x}|\omega}{P_{disponible}} \right] \quad (3)$$

Son posibles otras ecuaciones adecuadas para la función de limitación de salida de potencia 395.

La salida de potencia P_{salida} 384 representa una producción de potencia actual determinada del WTG basándose en mediciones realizadas por el módulo de medición 355.

La velocidad de rotor ω 385 representa una velocidad de rotor actual determinada del WTG basándose en mediciones realizadas por el módulo de medición 355. Después de la recepción de un nuevo nivel de potencia objetivo en el tiempo t_1 , la salida de potencia P_{salida} 384 se incrementa ajustando el paso de pala hacia un ángulo óptimo para el valor inicial de la velocidad de rotor ω 385. La salida de potencia P_{salida} 384 se aumenta a una segunda tasa de variación de potencia predeterminada $\dot{P}_{variación,lim}$ 387, que en algunos casos es el límite superior de tasa de variación de potencia 375 para el WTG. La velocidad de rotor ω 385 generalmente disminuye entre los tiempos t_1 y t_2 .

En el tiempo t_2 , la salida de potencia P_{salida} 384 alcanza un primer valor de potencia intermedio predeterminado $P_{int,1}$ 389, que representa el valor de salida de potencia P_{salida} 384 para el cual el valor correspondiente de la salida de potencia limitada $P_{salida,lim}$ 382 (es decir, relacionado por la función de limitación de salida de potencia 395) iguala la potencia máxima para una velocidad de rotación dada $P_{salida,m\acute{a}x}|\omega$ 381. En este caso, la tasa de variación de potencia se reduce para valores de salida de potencia P_{salida} 384 que son mayores que el primer valor de potencia intermedio

$P_{int,1}$ 389, de modo que quede un margen suficiente para incrementar la velocidad de rotor ω 385 simultáneamente con la variación de potencia. El funcionamiento con una tasa de variación de potencia reducida generalmente se produce durante una primera parte del intervalo de variación. En el gráfico 900, la salida de potencia P_{salida} 384 y la velocidad de rotor ω 385 se varían simultáneamente entre los tiempos t_2 y t_3 (es decir, una primera parte del intervalo de variación t_4-t_1); en el gráfico 920, la variación simultánea se produce entre los tiempos t_2 y t_5 (es decir, una primera parte del intervalo de variación t_5-t_1). En muchos casos, la velocidad de rotor ω 385 no aumenta a una tasa completamente constante, pero incluye variaciones relativamente menores basándose en otras condiciones de funcionamiento (por ejemplo, velocidad de viento). La salida de potencia P_{salida} 384 se varía a una primera tasa de variación de potencia $\dot{P}_{variación}$ 915. En algunas realizaciones, la primera tasa de variación de potencia $\dot{P}_{variación}$ 915 representa una tasa variable en el tiempo que se basa en la velocidad de rotor 385. Como la tasa de variación de la velocidad de rotor 385 puede incluir alguna variación, la tasa de variación de potencia $\dot{P}_{variación}$ 915 también puede representar de manera similar una función sustancialmente continua en lugar de un único valor de tasa.

En algunos casos, valores de las tasas de variación de potencia 387, 915 pueden usarse para controlar el funcionamiento del WTG. Por ejemplo, valores de la tasa de variación de potencia 915 pueden calcularse por el módulo de cálculo 360 y usarse con una tasa de variación de potencia predeterminada 387 para calcular el parámetro de aceleración ΔP_{acel} 383 y/u otros términos de la función de limitación de salida de potencia 395. En algunas realizaciones, la función de limitación de salida de potencia 395 puede incluir valores de las tasas de variación de potencia 387, 915 como términos explícitos para calcular valores de la salida de potencia limitada $P_{salida,lim}$ 382.

En algunas realizaciones, el módulo de cálculo 360 determina un valor de velocidad de rotor mínimo ω_{min} 386 necesario para que el WTG cumpla con el nivel de potencia objetivo 370. El valor de velocidad de rotor mínimo ω_{min} 386 se basa en mediciones de las condiciones de viento actuales (por ejemplo, se determina usando el módulo de medición 355) y corresponde a un paso de pala óptimo para el WTG. Tal como se muestra en los gráficos 900, 920, el valor de velocidad de rotor mínimo ω_{min} 386 necesario para alcanzar el nivel de potencia objetivo 370 (es decir, la potencia disponible $P_{disponible}$ 380) corresponde a un valor de velocidad de rotor óptimo ω_{opt} 905; en otras realizaciones, el valor del valor de velocidad de rotor mínimo ω_{min} 386 es menor que el valor de velocidad de rotor óptimo ω_{opt} 905.

Comenzando en el tiempo t_2 en los gráficos 900, 920, la velocidad de rotor ω 385 se incrementa hacia el valor de velocidad de rotor óptimo ω_{opt} 905, lo que mejora la eficiencia aerodinámica del WTG e incrementa el valor de $P_{salida,máx}|\omega$ 381 a una tasa correspondiente. En el gráfico 920, usando un valor interpolado con el parámetro de aceleración ΔP_{acel} 383, la primera tasa de variación de potencia $\dot{P}_{variación}$ 915 es generalmente mayor que la tasa de aumento de $P_{salida,máx}|\omega$ 381, y la diferencia 925 entre las dos señales disminuye gradualmente hasta el tiempo t_5 . En el gráfico 920, la velocidad de rotor ω 385 alcanza el valor de velocidad de rotor óptimo ω_{opt} 905 aproximadamente al mismo tiempo (es decir, tiempo t_5) en el que la salida de potencia P_{salida} 384 alcanza el nivel de potencia objetivo 370. La salida de potencia P_{salida} 384 sigue generalmente el nivel de potencia objetivo 370 desde el tiempo t_5 hasta que se recibe un nuevo nivel de potencia objetivo.

En el gráfico 900, donde el parámetro de aceleración ΔP_{acel} 383 no está interpolado, y la primera tasa de variación de potencia $\dot{P}_{variación}$ 915 es aproximadamente igual a la tasa de aumento de $P_{salida,máx}|\omega$ 381, de manera que la diferencia 910 entre las dos señales permanece aproximadamente constante hasta el tiempo t_3 . Debido a que la primera tasa de variación de potencia $\dot{P}_{variación}$ 915 es menor para el gráfico 900 que para el gráfico 920, se reserva más energía del WTG y, por lo tanto, está disponible para aumentar la velocidad de rotor ω 385, y como resultado, la velocidad de rotor ω 385 alcanza el valor de velocidad de rotor óptimo ω_{opt} 905 antes en el gráfico 900 (es decir, tiempo t_3 en lugar de tiempo t_5). El valor de la salida de potencia P_{salida} 384 en el tiempo t_3 es un segundo valor de potencia intermedio predeterminado $P_{int,2}$ 390. Después de alcanzar el valor de velocidad de rotor óptimo ω_{opt} 905 en el tiempo t_3 , no es necesario aumentar adicionalmente la velocidad de rotor ω 385, y la salida de potencia P_{salida} 384 puede variarse desde el segundo valor de potencia intermedio $P_{int,2}$ 390 hasta el valor de potencia objetivo 370 a una tasa de variación de potencia que es mayor que la primera tasa de variación de potencia (reducida) $\dot{P}_{variación}$ 915. En algunas realizaciones, la tasa de variación de potencia entre los tiempos t_3 y t_4 , es la segunda tasa de variación de potencia $\dot{P}_{variación,lim}$ 387, por ejemplo, el límite superior de tasa de variación de potencia 375 para el WTG. La salida de potencia P_{salida} 384 sigue generalmente el nivel de potencia objetivo 370 desde el tiempo t_4 hasta que se recibe un nuevo nivel de potencia objetivo.

La figura 4 es un método para controlar una salida de potencia por debajo del régimen nominal de un generador de turbina eólica, según una realización. El método 400 comienza en el bloque 405, donde el WTG se hace funcionar con una salida de potencia por debajo del régimen nominal y una velocidad de rotor por debajo del régimen nominal. En algunas realizaciones, el WTG se hace funcionar en un modo de funcionamiento de baja potencia, que puede ser tan baja como lo permitan las condiciones (por ejemplo, condiciones de viento, esfuerzos en componentes estructurales, etc.).

En el bloque 415, el controlador de WTG recibe un nivel de potencia objetivo. El nivel de potencia objetivo en algunos casos puede incluir una tasa de variación de potencia para el WTG, o la tasa de variación de potencia puede inferirse por el controlador de WTG. Por ejemplo, un controlador de WTG puede, por defecto, variar la potencia a una tasa

posible máxima (es decir, un límite superior de tasa de variación de potencia).

En el bloque 425, el controlador de WTG varía la salida de potencia del WTG desde un nivel de potencia inicial al nivel de potencia objetivo durante un intervalo de variación. En el bloque 430, y durante una primera parte dentro del intervalo de variación, el controlador de WTG varía la salida de potencia a una primera tasa de variación de potencia que es menor que el límite superior de tasa de variación de potencia. Durante el primer período, y simultáneamente con el bloque 430 (indicado por la línea discontinua 440) en el bloque 435, el WTG varía la velocidad de rotor a un valor de velocidad de rotor predeterminado. Al menos parte de la energía que se conserva al variar la potencia a una tasa de variación de potencia reducida se usa para variar la velocidad de rotor, sin que el WTG produzca una salida de potencia negativa o entre en un funcionamiento de carga reducida. El método 400 termina después de la finalización del bloque 425.

La figura 5 es un método para variar la velocidad de rotor de un WTG simultáneamente con la variación de la salida de potencia del WTG, según una realización. Generalmente, el método 500 corresponde al bloque 425 del método 400. El método 500 comienza en el bloque 505, donde el controlador de WTG determina un valor de velocidad de rotor mínimo para alcanzar el nivel de potencia objetivo. El valor de velocidad de rotor mínimo determinado se basa en las condiciones de viento actuales en el WTG, que pueden medirse usando el controlador de WTG.

En el bloque 515, el controlador de WTG varía la velocidad de rotor al valor de velocidad de rotor mínimo durante la primera parte del intervalo de variación. El bloque 515 corresponde, en general, al bloque 435 del método 400, en el que el valor de velocidad de rotor mínimo corresponde al valor de velocidad de rotor predeterminado.

En el bloque 525, y tras alcanzar el valor de velocidad de rotor mínimo, el controlador de WTG varía la salida de potencia al nivel de potencia objetivo. La variación se realiza a una segunda tasa de variación de potencia mayor que la primera tasa de variación de potencia. En algunos casos, la segunda tasa de variación de potencia corresponde al límite superior de tasa de variación de potencia. El método 500 termina después de la finalización del bloque 525.

La figura 6 incluye gráficos que ilustran el funcionamiento de un WTG con y sin variaciones simultáneas de la velocidad de rotor con la salida de potencia, según una realización. El gráfico 600 representa diversos niveles de salida de potencia de un WTG, y el gráfico 630 representa los niveles de velocidad de rotor correspondientes. Generalmente, las señales 605 y 635 reflejan una generación de potencia óptima correspondiente al WTG que produce la potencia disponible $P_{disponible}$ 380 basándose en las condiciones de viento actuales. El valor de la señal 605 en el tiempo t_0 es aproximadamente 0,8 por unidad (pu) de la potencia nominal, pero generalmente varía basándose en la configuración de WTG particular y las condiciones de viento a lo largo del tiempo. Por ejemplo, se asume que el WTG representado se hace funcionar en régimen nominal para producir 1 pu a una velocidad de rotor de 1 pu. Cualquier valor de variación adecuado es posible para el WTG, tal como 3500 kilovatios (kW) a 1400 rotaciones por minuto (rpm).

Las señales 610 y 615 representan cada una la salida de potencia de un WTG que funciona con una salida de potencia por debajo del régimen nominal y una velocidad de rotor por debajo del régimen nominal. Tal como se muestra, en el momento t_0 , la salida de potencia es aproximadamente 0,12 pu (o el 12 % de la salida de potencia nominal). Las señales 640 y 645, que corresponden respectivamente a las señales 610 y 615, ilustran una velocidad de rotor por debajo del régimen nominal inicial de aproximadamente 0,6 pu.

La señal 610 corresponde a un WTG que varía la potencia según un esquema de variación de potencia "normal", es decir, tras recibir el nivel de potencia objetivo en el tiempo t_1 (aproximadamente $t = 10$ segundos), variar la salida de potencia rápido regulando el paso de las palas independientemente de si la velocidad de rotor inicial del WTG puede soportar el nivel de potencia objetivo. Como resultado, la señal 610 muestra la variación de la salida de potencia a una tasa de variación de potencia máxima entre los tiempos t_1 y t_2 (aproximadamente $t = 15$ segundos). De manera correspondiente, la velocidad de rotor en la señal 640 disminuye gradualmente a medida que se incrementa la salida de potencia. Sin embargo, en el tiempo t_2 , el WTG alcanza sus límites de eficiencia aerodinámica y no puede producir potencia más allá de aproximadamente 0,5 pu debido a limitaciones del valor de velocidad de rotor inicial. La salida de potencia de la señal 610 disminuye entre los tiempos t_2 y t_3 a medida que el controlador de WTG intenta restaurar la velocidad de rotación. La señal 610 alcanza el nivel de potencia objetivo en el tiempo t_5 , correspondiente a un intervalo de variación de aproximadamente 100 segundos después de que se recibe el nivel de potencia objetivo.

La señal 615 corresponde a un WTG que varía la potencia simultáneamente con las técnicas de variación de velocidad de rotor según diversas realizaciones descritas en el presente documento. Tal como se muestra, el WTG recibe el nivel de potencia objetivo en el tiempo t_1 . En lugar de realizar una variación de potencia inmediata como con la señal 610, el controlador de WTG determina un valor de velocidad de rotor mínimo si el nivel de potencia objetivo no puede alcanzarse con el valor de velocidad de rotación inicial. El valor de velocidad de rotor mínimo se determina basándose, al menos en parte, en las condiciones de viento actuales. Durante este período de variación de velocidad de rotor, la tasa de variación de potencia es menor que el límite superior de tasa de variación de potencia del WTG, y tal como se muestra es aproximadamente cero entre t_1 y t_2 . En realizaciones alternativas, el controlador de WTG varía la potencia durante el período de variación de velocidad de rotor con al menos una tasa de variación de potencia nominal.

Después de que comience la variación de velocidad de rotor en el tiempo t_6 (señal 645), la señal 615 muestra que la

salida de potencia del WTG también se incrementa comenzando en aproximadamente el tiempo t_2 . En algunas realizaciones, la variación de salida de potencia comienza después de que la velocidad de rotor haya alcanzado un valor de velocidad de rotor predeterminado, tal como un valor de velocidad de rotor mínimo determinado para alcanzar el nivel de potencia objetivo. En algunas realizaciones, la variación de salida de potencia comienza antes de que la velocidad de rotor alcance el valor predeterminado, pero la tasa de variación de potencia sigue siendo lo suficientemente baja como para dirigir energía a la variación de velocidad de rotor. Por ejemplo, la tasa de variación de potencia puede pasar gradualmente de una tasa cercana a cero al límite superior de tasa de variación de potencia. La señal 615 continúa aproximándose a la señal 605 durante el intervalo de variación 625 (correspondiente a $t_4 - t_1$). De hecho, una diferencia 620 entre las señales 615 y 605 está disminuyendo al menos uniformemente durante todo el intervalo de variación 625. Para algunos niveles de potencia objetivo variables en el tiempo, tales como la potencia disponible 380, un cambio negativo en el nivel de potencia puede dar como resultado un cambio negativo correspondiente a la señal 615, pero la diferencia 620 continúa disminuyendo. La señal 615 alcanza el nivel de potencia objetivo en el tiempo t_4 , correspondiente a un intervalo de variación 625 de aproximadamente cincuenta (50) segundos después de que se recibe el nivel de potencia objetivo.

La figura 7 es un método para variar la salida de potencia de un generador de turbina eólica desde un nivel de potencia inicial hasta un nivel de potencia objetivo durante un intervalo de variación, según una realización. El método 700 generalmente corresponde al bloque 425 del método 400. En el bloque 705, y durante una segunda parte del intervalo de variación anterior a la primera parte, el controlador de WTG varía la salida de potencia desde un nivel de potencia inicial hasta un primer nivel de potencia intermedio predeterminado a una segunda tasa de variación de potencia mayor que la primera tasa de variación de potencia. En algunas realizaciones, la segunda tasa de variación de potencia es el límite superior de tasa de variación de potencia para el WTG. En algunas realizaciones, el primer nivel de potencia intermedio representa el valor de salida de potencia para el cual el valor correspondiente de una función de limitación de salida de potencia es igual a la potencia máxima para una velocidad de rotación dada.

En el bloque 715, que corresponde al bloque 430 del método 400, y durante la primera parte del intervalo de variación, el controlador de WTG varía la salida de potencia desde el primer nivel de potencia intermedio hasta un segundo nivel de potencia intermedio predeterminado. En algunas realizaciones, el segundo nivel de potencia intermedio corresponde a la velocidad de rotación que alcanza un valor de velocidad de rotor óptimo.

En el bloque 725, y durante una tercera parte del intervalo de variación posterior a la primera parte, el controlador de WTG varía la salida de potencia desde el segundo nivel de potencia intermedio hasta el nivel de potencia objetivo. En algunos casos, la tasa de variación de potencia durante la tercera parte es el límite superior de tasa de variación de potencia. El método 700 termina siguiendo el bloque 725.

La figura 8 es un método para determinar una primera tasa de variación de potencia que va a aplicarse por un generador de turbina eólica durante una variación simultánea de velocidad de rotor, según una realización. El método 800 puede usarse como parte del método 400 (por ejemplo, bloque 430) o el método 700 (por ejemplo, bloque 715).

El método 800 comienza en el bloque 805, donde el controlador de WTG calcula un resultado de una función de limitación de salida de potencia predeterminada que tiene un valor actual de la salida de potencia como entrada. La función de limitación de potencia puede ser cualquier función adecuada para garantizar que se reserve un margen de energía para soportar la variación simultánea de la velocidad de rotor durante el intervalo de variación de potencia. De esta manera, el WTG continúa aumentando la potencia hacia el nivel de potencia objetivo sin necesidad de entrar en un funcionamiento de carga reducida para recuperar la velocidad de rotor antes de alcanzar el nivel de potencia objetivo.

En el bloque 810, la primera tasa de variación de potencia se determina basándose en la función de limitación de salida de potencia. En algunas realizaciones, la tasa de variación de potencia se basa en un parámetro de aceleración predeterminado. En algunos casos, la tasa de variación de potencia es aproximadamente la misma que la tasa de aumento en potencia máxima que pasa a estar disponible debido a la variación de velocidad de rotación durante la primera parte del intervalo de variación. En algunos casos, la tasa de variación de potencia es mayor que la tasa de aumento en potencia máxima. El método 800 termina después de la finalización del bloque 810.

En lo anterior se hace referencia a las realizaciones presentadas en esta divulgación. Sin embargo, el alcance de la presente divulgación no se limita a las realizaciones descritas específicas. En su lugar, se contempla que cualquier combinación de las características y elementos anteriores, estén relacionados o no con diferentes realizaciones, implemente y ponga en práctica realizaciones contempladas. Además, aunque las realizaciones dadas a conocer en el presente documento pueden lograr ventajas sobre otras posibles soluciones o sobre la técnica anterior, que se logre o no una ventaja particular mediante una realización dada no limita el alcance de la presente divulgación. Por lo tanto, los aspectos, características, realizaciones y ventajas anteriores son meramente ilustrativos y no se consideran elementos o limitaciones de las reivindicaciones adjuntas, excepto cuando se mencionan explícitamente en una o más reivindicaciones. Del mismo modo, la referencia a "la invención" no se interpretará como una generalización de cualquier materia objeto inventiva dada a conocer en el presente documento y no se considerará como un elemento o limitación de las reivindicaciones adjuntas, excepto cuando se mencione explícitamente en una o más reivindicaciones.

Tal como apreciará un experto en la técnica, las realizaciones descritas en el presente documento pueden materializarse como un sistema, método o producto de programa informático. Por consiguiente, los aspectos pueden tomar la forma de una realización completamente de hardware, una realización completamente de software (incluyendo firmware, software residente, microcódigo, etc.) o una realización que combina aspectos de software y hardware que generalmente pueden denominarse todos en el presente documento "circuito", "módulo" o "sistema". Adicionalmente, aspectos pueden tomar la forma de un producto de programa informático incorporado en uno o más medios legibles por ordenador que tienen código de programa legible por ordenador incorporado en el mismo. Puede transmitirse código de programa incorporado en un medio legible por ordenador usando cualquier medio apropiado, incluyendo, pero sin limitarse a, inalámbrico, de línea alámbrica, cable de fibra óptica, RF, etc. o cualquier combinación adecuada de lo anterior.

Aspectos de la presente divulgación se describen anteriormente con referencia a ilustraciones de diagramas de flujo y/o diagramas de bloques de métodos, aparato (sistemas), y productos de programas informáticos según realizaciones presentadas en esta divulgación. Se entenderá que cada bloque de las ilustraciones de diagrama de flujo y/o diagramas de bloques, y combinaciones de bloques en las ilustraciones de diagrama de flujo y/o diagramas de bloques, pueden implementarse mediante instrucciones de programa informático. 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 manera que las instrucciones almacenadas en el medio legible por ordenador producen un artículo de fabricación que incluye instrucciones que implementan la función/acto especificado en el bloque o bloques de diagrama de flujo y/o bloques.

Los diagramas de flujo y de bloques en las figuras ilustran la arquitectura, funcionalidad y funcionamiento de posibles implementaciones de sistemas, métodos y productos de programas informáticos según diversas realizaciones. A este respecto, cada bloque en los diagramas de flujo o de bloques puede representar un módulo, segmento o parte de código, que comprende una o más instrucciones ejecutables para implementar la(s) función/funciones lógica(s) especificada(s). También debe tenerse en cuenta que, en algunas implementaciones alternativas, las funciones indicadas en el bloque pueden producirse fuera del orden indicado en las figuras. Por ejemplo, dos bloques mostrados en sucesión pueden, de hecho, ejecutarse sustancialmente de manera concurrente, o los bloques a veces pueden ejecutarse en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad involucrada. También se observará que cada bloque de la ilustración de diagramas de bloques y/o diagrama de flujo, y combinaciones de bloques en la ilustración de diagramas de bloques y/o diagrama de flujo, puede implementarse mediante sistemas basados en hardware de propósito especial que realizan las funciones o actos especificados, o combinaciones de hardware de propósito especial e instrucciones informáticas.

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

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar una salida de potencia por debajo del régimen nominal de un generador de turbina eólica, estando el generador de turbina eólica asociado con un límite superior de tasa de variación de potencia predeterminado y que se hace funcionar con una velocidad de rotor por debajo del régimen nominal, comprendiendo el método:

variar (425), tras recibir un nivel de potencia objetivo (370, 415), la salida de potencia desde un nivel de potencia inicial hasta el nivel de potencia objetivo durante un intervalo de variación,

en el que durante una primera parte del intervalo de variación (430), la salida de potencia se hace variar a una primera tasa de variación de potencia menor que el límite superior de tasa de variación de potencia; y

variar (435) la velocidad de rotor a un valor de velocidad de rotor predeterminado simultáneamente variando la salida de potencia durante la primera parte del intervalo de variación,

en el que la primera tasa de variación de potencia (915) se determina de manera que una diferencia entre la salida de potencia (384) y el nivel de potencia objetivo (370) está disminuyendo uniformemente durante la totalidad del intervalo de variación,

caracterizado porque el método comprende además:

calcular (805) un resultado de una función de limitación de salida de potencia predeterminada (395) que tiene un valor actual de la salida de potencia como entrada, seleccionándose la función de limitación de salida de potencia para garantizar que se reserve un margen de energía para soportar la variación simultánea de velocidad de rotor durante la primera parte del intervalo de variación,

en el que la primera tasa de variación de potencia se determina (810) basándose en la función de limitación de salida de potencia.
2. El método según la reivindicación 1, en el que se determina la primera tasa de variación de potencia para evitar que se provoque que el generador de turbina eólica entre en funcionamiento de carga reducida.
3. El método según la reivindicación 1 o 2, que comprende además:

determinar, basándose en condiciones de viento actuales, un valor de velocidad de rotor mínimo para alcanzar el nivel de potencia objetivo, en el que el valor de velocidad de rotor predeterminado es el valor de velocidad de rotor mínimo determinado;

variar la velocidad de rotor al valor de velocidad de rotor mínimo durante la primera parte del intervalo de variación; y

tras alcanzar el valor de velocidad de rotor mínimo, variar la salida de potencia al nivel de potencia objetivo a una segunda tasa de variación de potencia mayor que la primera tasa de variación de potencia.
4. El método según la reivindicación 3, en el que la primera tasa de variación de potencia es sustancialmente cero, y en el que la segunda tasa de variación de potencia es el límite superior de tasa de variación de potencia.
5. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además:

variar, durante una segunda parte del intervalo de variación anterior a la primera parte, la salida de potencia desde el nivel de potencia inicial hasta un primer nivel de potencia intermedio predeterminado (389) a una segunda tasa de variación de potencia (387) mayor que la primera tasa de variación de potencia.
6. El método según la reivindicación 5, en el que la salida de potencia se varía desde el primer intermedio hasta un segundo nivel de potencia intermedio predeterminado (390) durante la primera parte del intervalo de variación, comprendiendo además el método:

variar, durante una tercera parte del intervalo de variación posterior a la primera parte, la salida de potencia desde el segundo nivel de potencia intermedio hasta el nivel de potencia objetivo (370, 415).
7. El método según la reivindicación 6, en el que el primer nivel de potencia intermedio corresponde a un valor de salida de potencia máximo para el generador de turbina eólica a una velocidad de rotor actual, y en el que el segundo nivel de potencia intermedio corresponde a una velocidad de rotor óptima predeterminada basándose en condiciones de viento actuales.

8. El método según la reivindicación 1-7, en el que la función de limitación de salida de potencia comprende una suma del valor actual de la salida de potencia y un término que incluye un parámetro de aceleración predeterminado.
- 5 9. El método según la reivindicación 8, en el que el término comprende el parámetro de aceleración predeterminado multiplicado por un término de interpolación basado en un valor de potencia disponible y un valor de salida de potencia máximo para una velocidad de rotor actual.
- 10 10. Una disposición de control para controlar una salida de potencia por debajo del régimen nominal de un generador de turbina eólica (WTG), estando el WTG asociado con un límite superior de tasa de variación de potencia predeterminado y que se hace funcionar con una velocidad de rotor por debajo del régimen nominal, comprendiendo la disposición de control:
- 15 un procesador acoplado con un módulo de control de paso (350) y un módulo de cálculo (360), y configurada para:
- 20 variar (425), usando el módulo de control de paso y en respuesta a la recepción de un nivel de potencia objetivo (370, 415), la salida de potencia desde un nivel de potencia inicial hasta el nivel de potencia objetivo durante un intervalo de variación, en la que durante una primera parte del intervalo de variación (430), la salida de potencia se varía a una primera tasa de variación de potencia menor que el límite superior de tasa de variación de potencia; y
- 25 variar (435) la velocidad de rotor a un valor de velocidad de rotor predeterminado simultáneamente haciendo variar la salida de potencia durante la primera parte del intervalo de variación,
- 30 en la que el módulo de cálculo (360) está configurado para determinar la primera tasa de variación de potencia (915) de manera que una diferencia entre la salida de potencia (384) y el nivel de potencia objetivo (370) está disminuyendo uniformemente durante la totalidad del intervalo de variación,
- 35 caracterizado porque el módulo de cálculo está configurado además para:
- calcular (805) un resultado de una función de limitación de salida de potencia predeterminada (395) que tiene un valor actual de la salida de potencia como entrada, seleccionándose la función de limitación de salida de potencia para garantizar que se reserve un margen de energía para soportar la variación simultánea de la velocidad de rotor durante la primera parte del intervalo de variación; y
- 40 determinar (810) la primera tasa de variación de potencia basándose en la función de limitación de salida de potencia.
11. La disposición de control según la reivindicación 10, en la que el módulo de cálculo está configurado para determinar la primera tasa de variación de potencia para evitar que provoque que el WTG entre en un funcionamiento de carga reducida.
- 45 12. La disposición de control según la reivindicación 10 u 11, que comprende además un módulo de medición configurado para adquirir datos de condiciones de viento actuales para el WTG,
- 50 en la que el procesador está configurado además para:
- determinar, basándose en los datos de condiciones de viento actuales, un valor de velocidad de rotor mínimo para alcanzar el nivel de potencia objetivo, en la que el valor de velocidad de rotor predeterminado es el valor de velocidad de rotor mínimo determinado;
- 55 variar la velocidad de rotor al valor de velocidad de rotor mínimo durante la primera parte del intervalo de variación; y
- tras alcanzar el valor de velocidad de rotor mínimo, variar la salida de potencia al nivel de potencia objetivo a una segunda tasa de variación de potencia mayor que la primera tasa de variación de potencia.
- 60 13. La disposición de control según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en la que el procesador está configurado además para:
- 65 variar, durante una segunda parte del intervalo de variación anterior a la primera parte, la salida de potencia desde el nivel de potencia inicial hasta un primer nivel de potencia intermedio predeterminado a una segunda tasa de variación de potencia mayor que la primera tasa de variación de potencia.

14. La disposición de control según la reivindicación 13, en la que el procesador está configurado además para:

variar la salida de potencia desde el primer intermedio hasta un segundo nivel de potencia intermedio predeterminado durante la primera parte del intervalo de variación; y

5 variar, durante una tercera parte del intervalo de variación posterior a la primera parte, la salida de potencia desde el segundo nivel de potencia intermedio hasta el nivel de potencia objetivo.

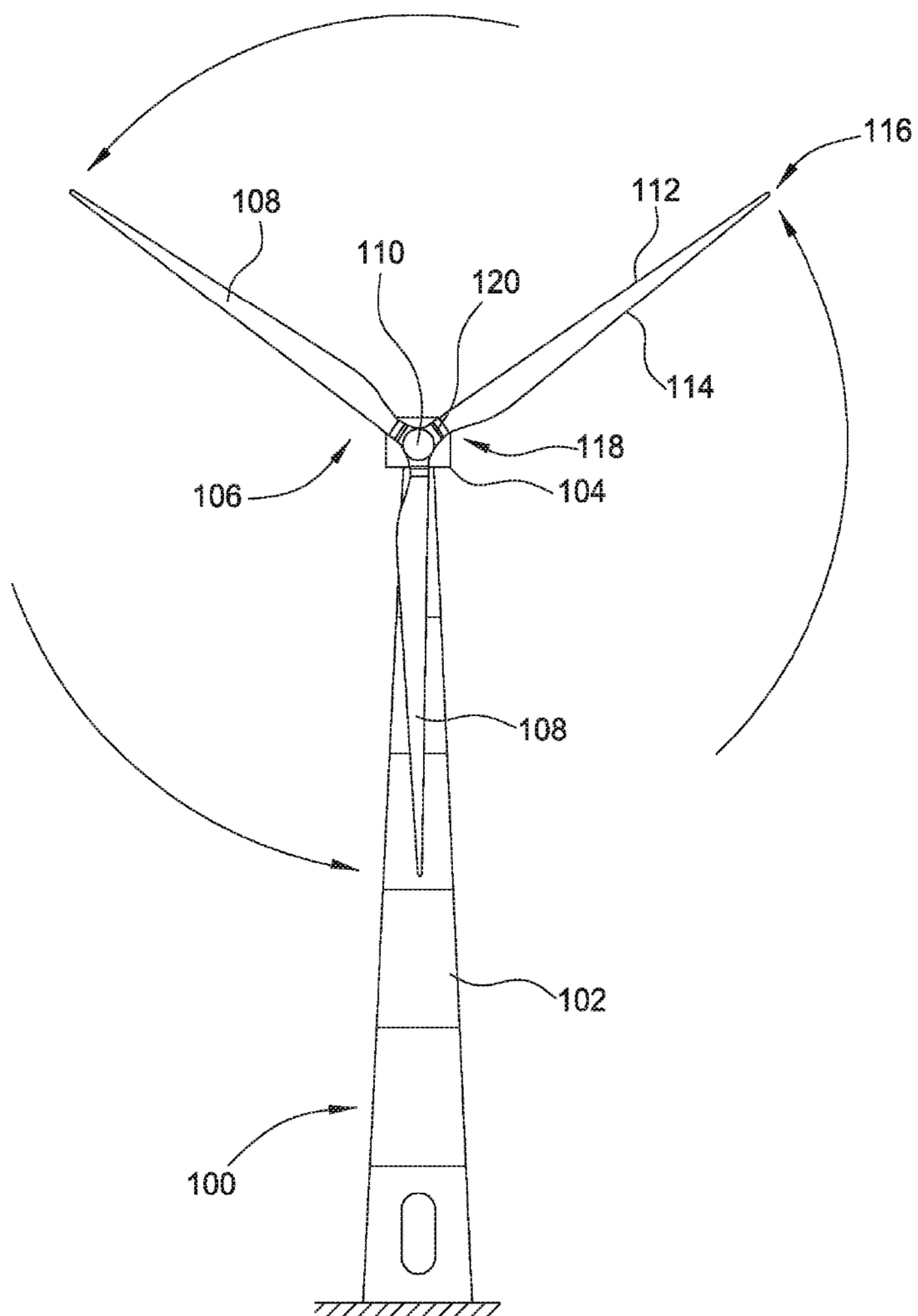


FIG. 1

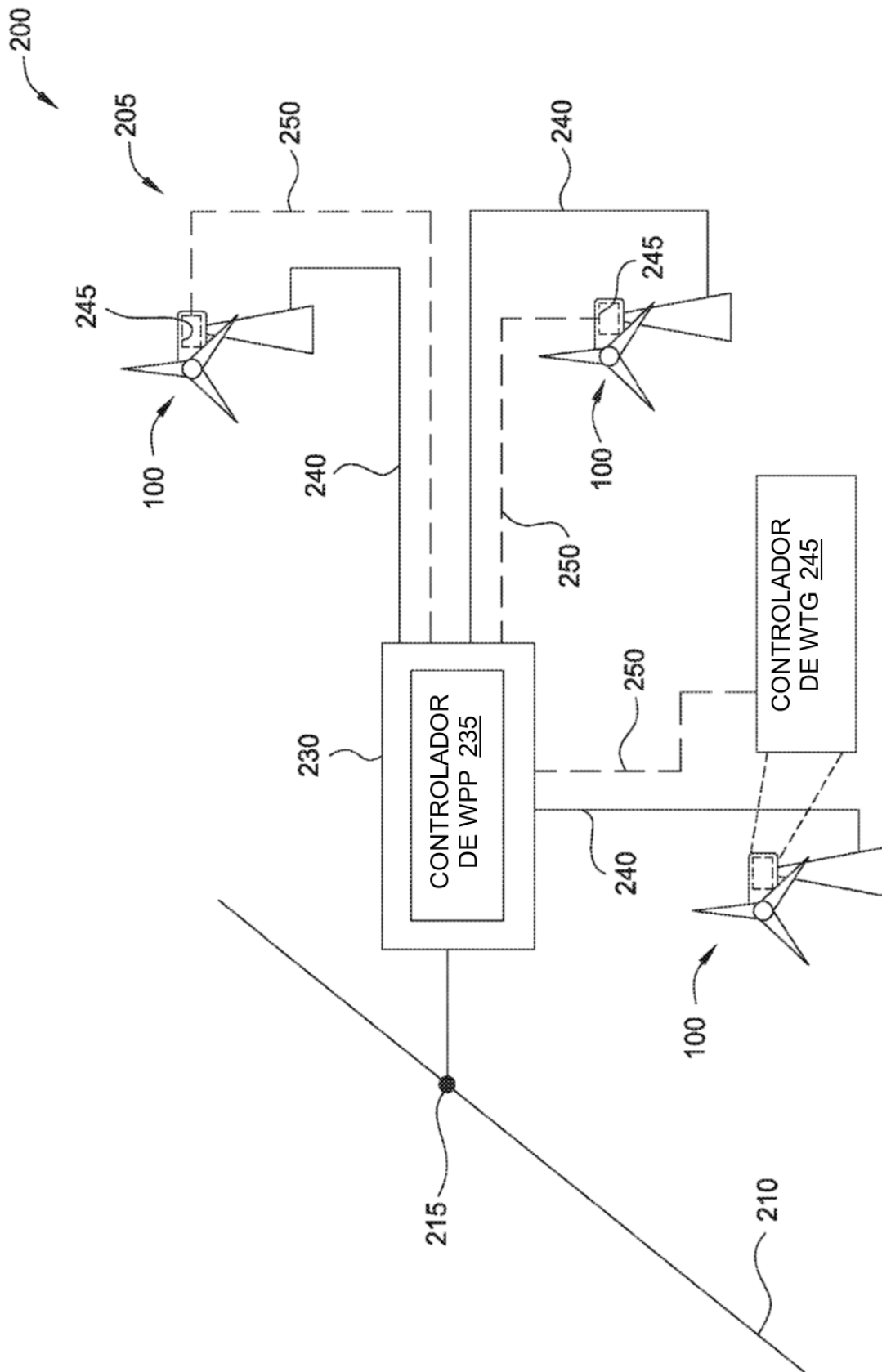


FIG. 2

300

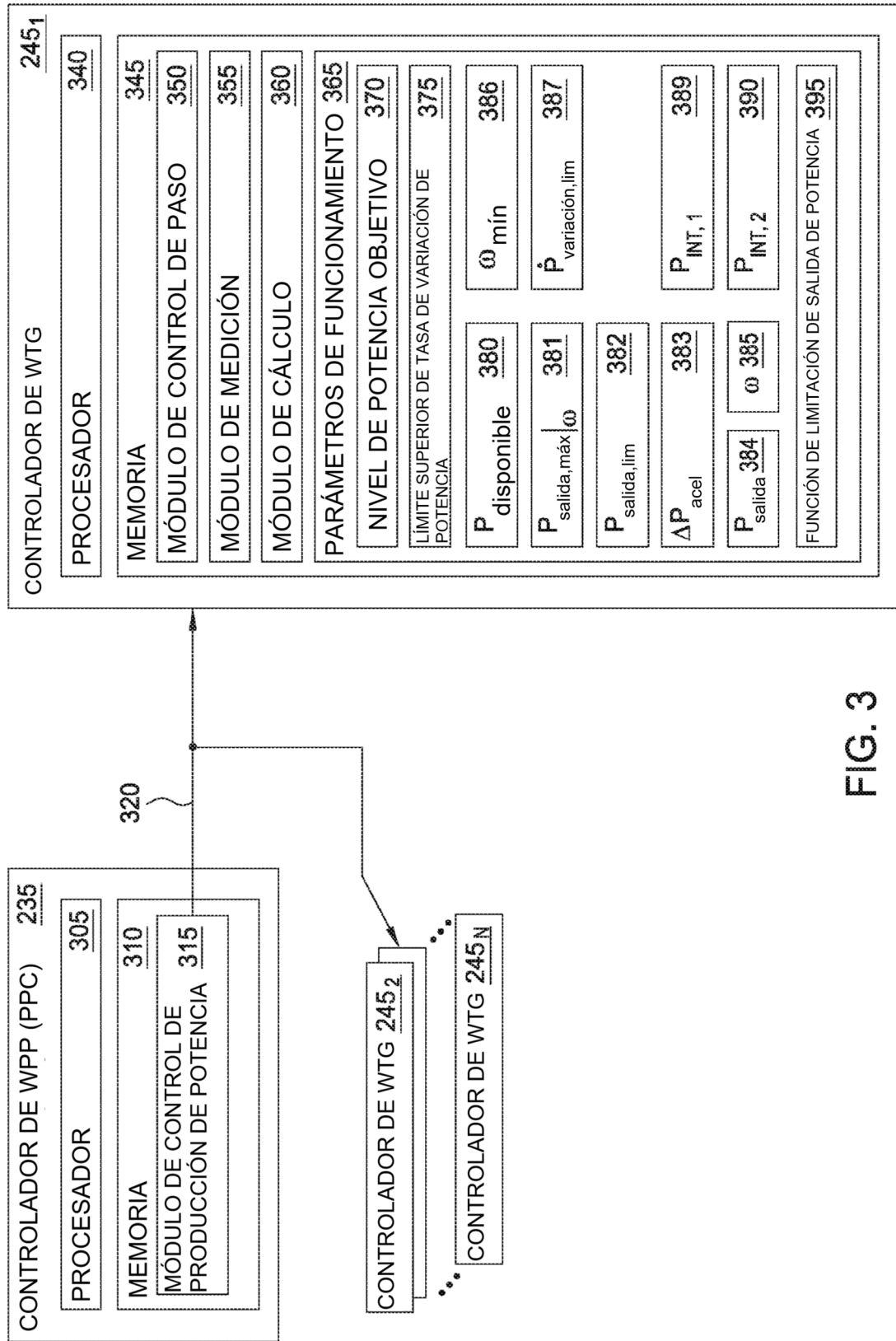


FIG. 3

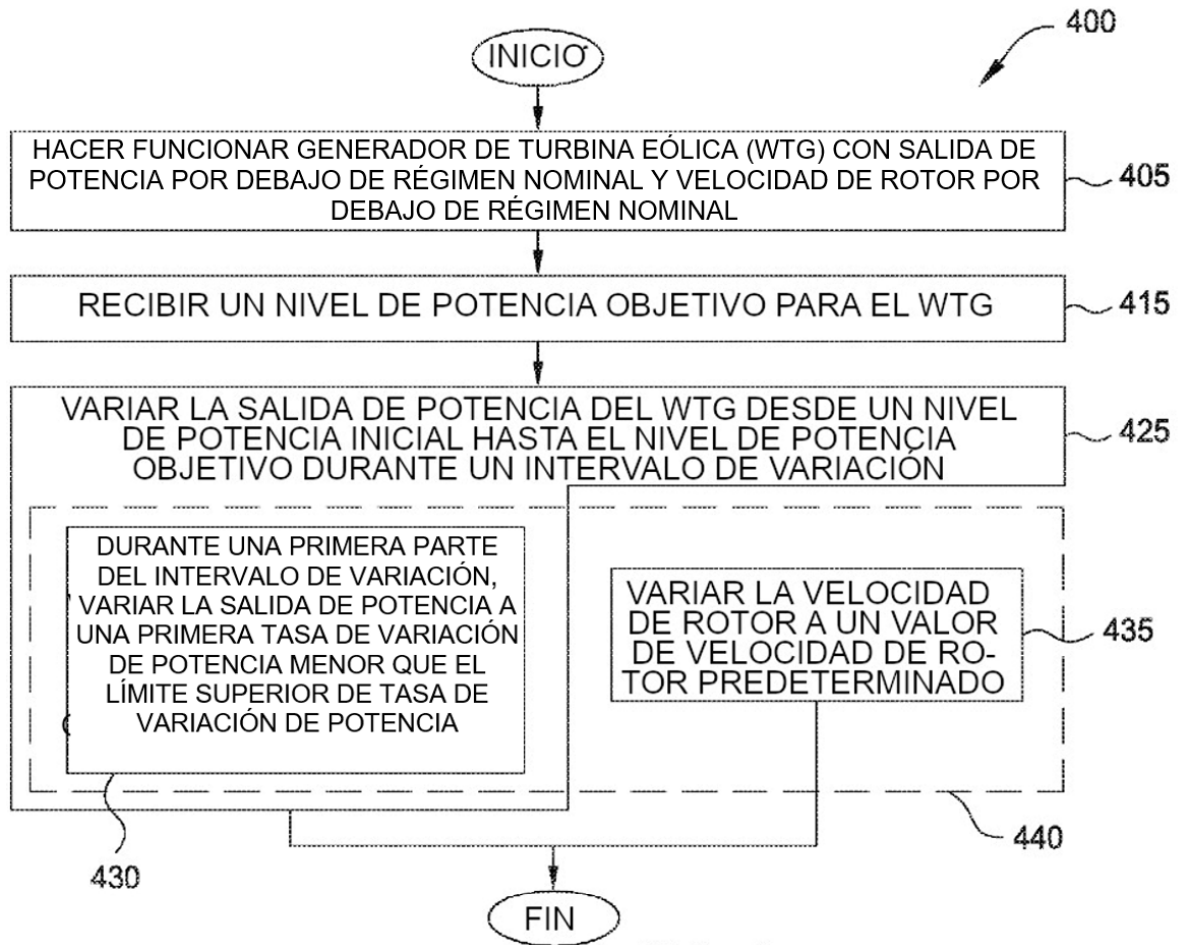


FIG. 4

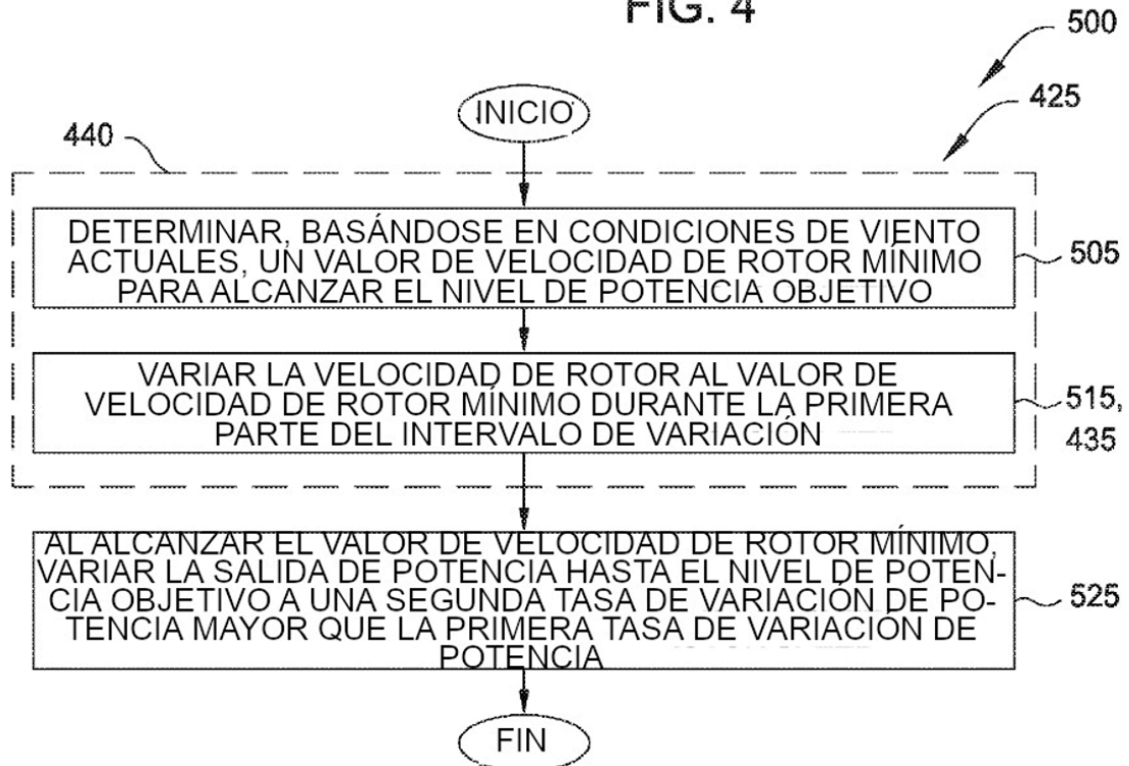


FIG. 5

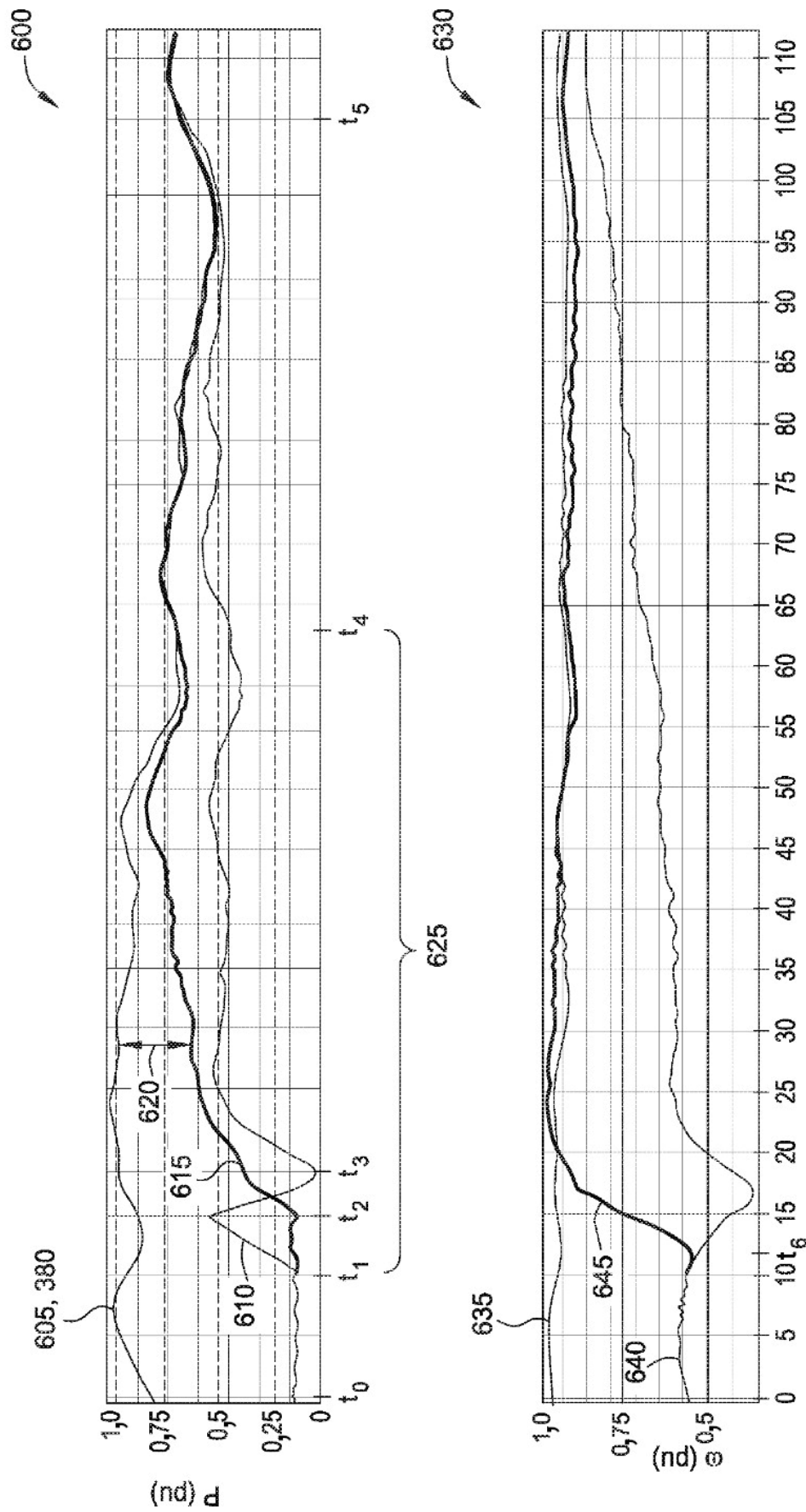


FIG. 6

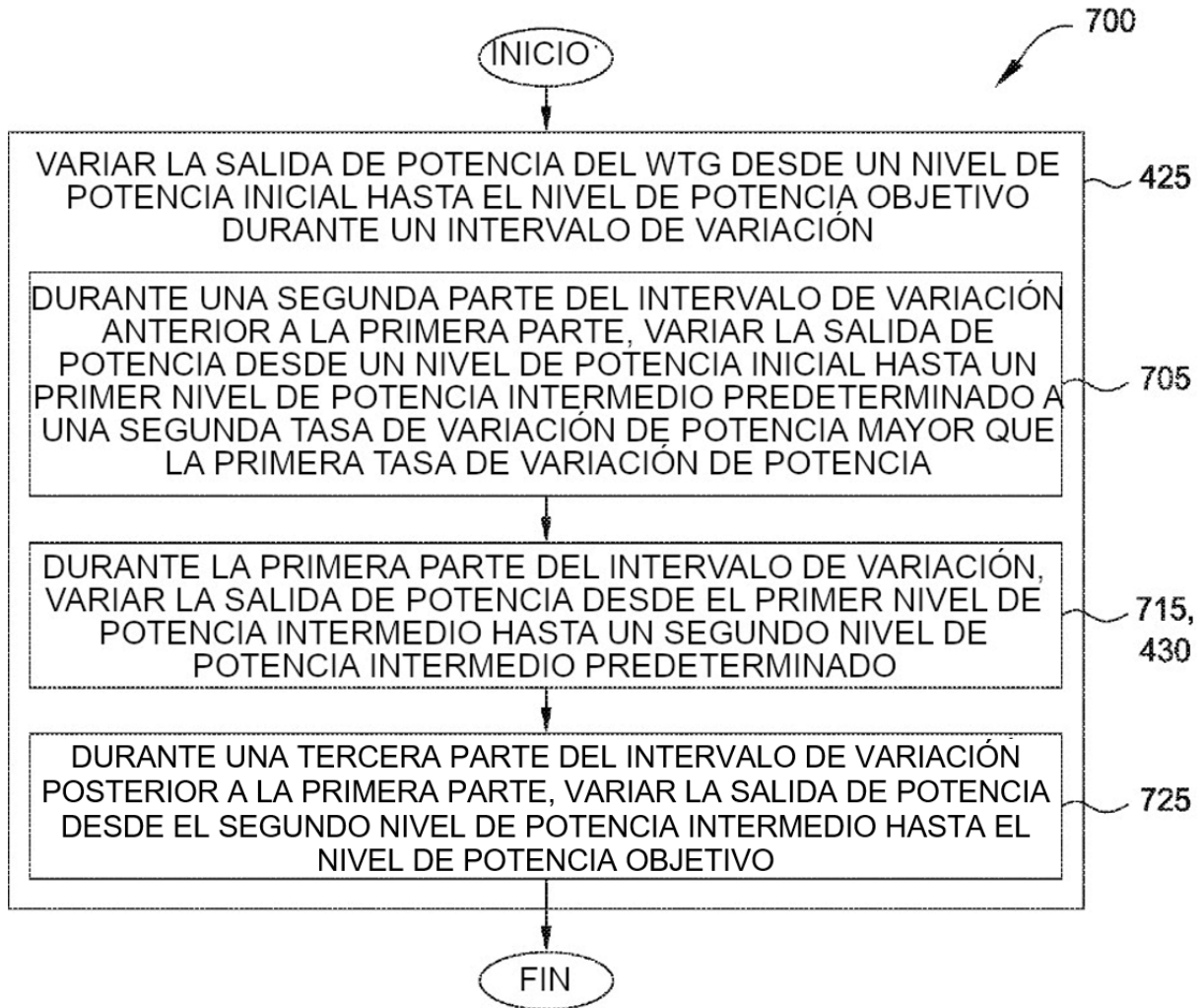


FIG. 7

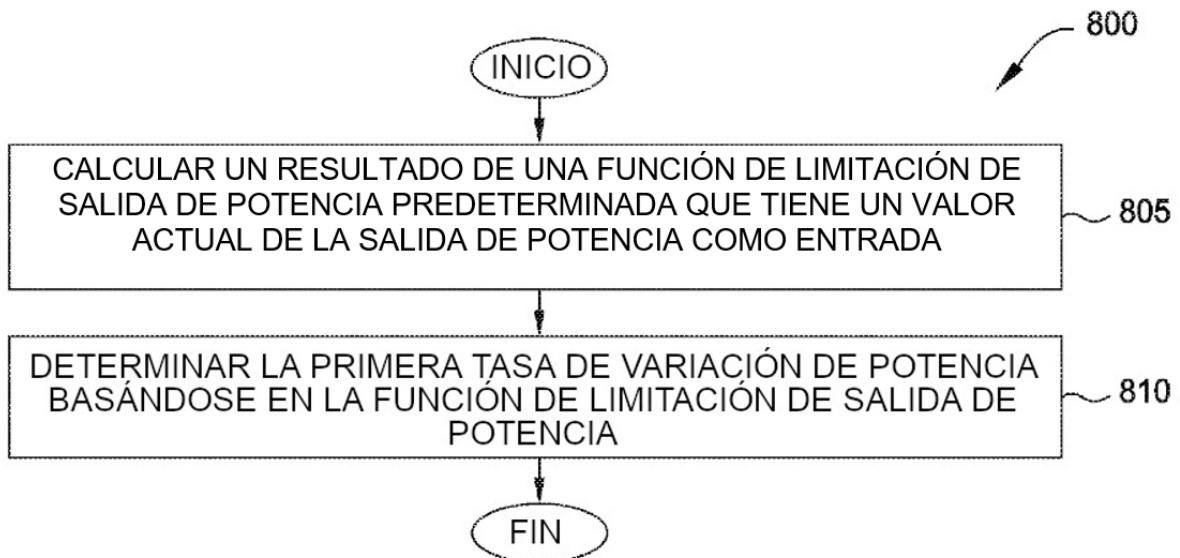


FIG. 8

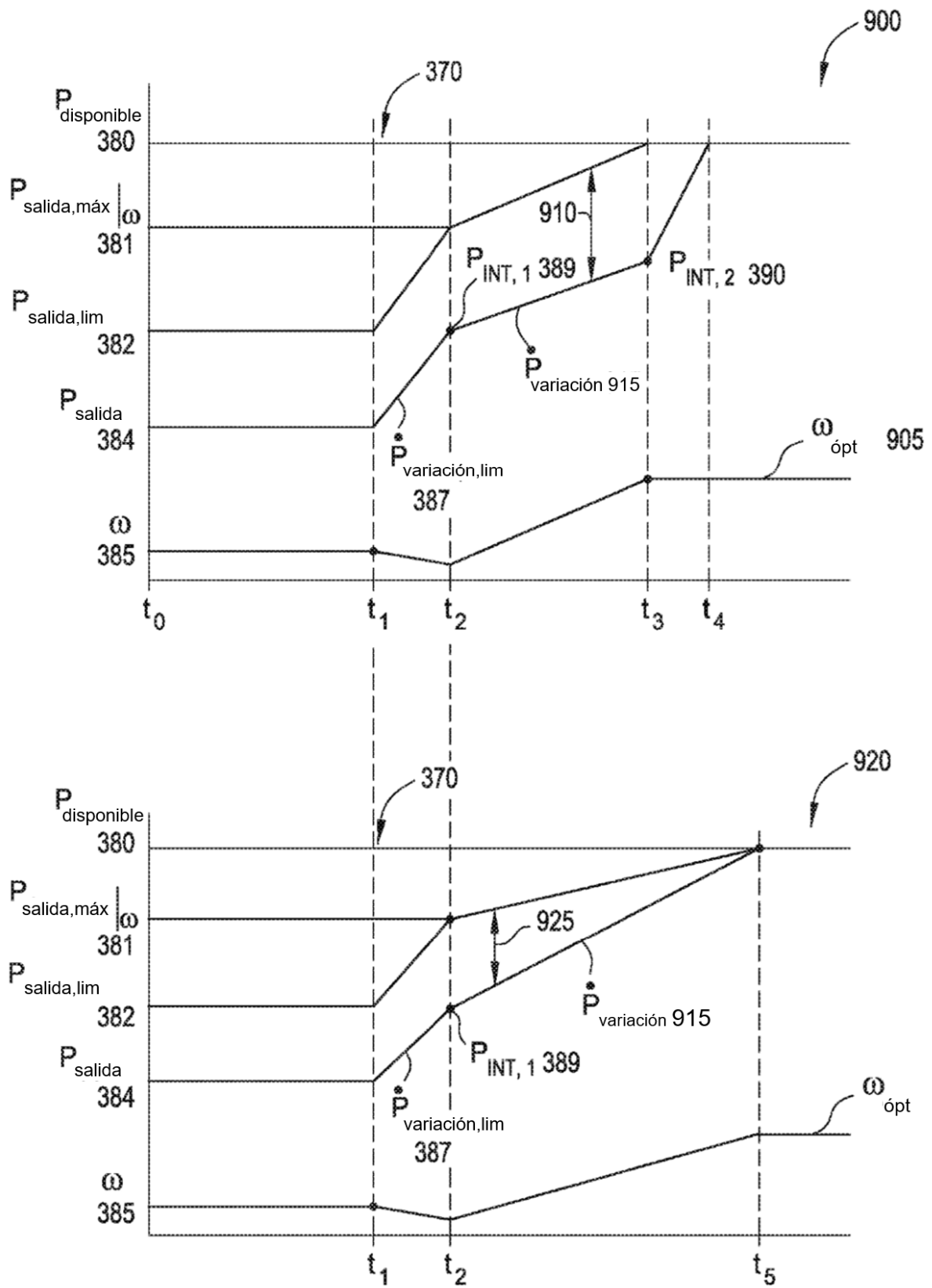


FIG. 9