

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 008 533**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/38** (2006.01)

**H02J 3/48** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.07.2022** **E 22182612 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2024** **EP 4135146**

54 Título: **Sistema y procedimiento para el control de potencia de un recurso basado en inversor con un convertidor formador de red**

30 Prioridad:

**29.07.2021 US 202117388189**

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

**24.03.2025**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA,  
S.L. (100.00%)  
Calle Roc Boronat 78  
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**HOWARD, DUSTIN y  
ACHILLES, ALFREDO SEBASTIAN**

74 Agente/Representante:

**DE ROOIJ, Mathieu Julien**

**ES 3 008 533 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

Sistema y procedimiento para el control de potencia de un recurso basado en inversor con un convertidor formador de red

5

**Campo**

[0001] La presente divulgación se refiere, en general, a recursos basados en inversor, tales como sistemas de potencia de turbina eólica y, más en particular, a sistemas y procedimientos para el control de potencia de un recurso basado en inversor con un convertidor formador de red.

10

**Antecedentes**

[0002] La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medioambiente disponibles actualmente, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna típicamente incluye una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas de rotor capturan energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos. Por ejemplo, las palas de rotor típicamente tienen el perfil en sección transversal de un perfil alar de modo que, durante la operación, el aire fluya sobre la pala, lo que produce una diferencia de presión entre los lados. En consecuencia, una fuerza de sustentación, que se dirige desde un lado de presión hacia un lado de succión, actúa sobre la pala. La fuerza de sustentación genera un par de torsión en el eje de rotor principal, que típicamente se engrana a un generador para producir electricidad.

15

20

[0003] Las turbinas eólicas se pueden distinguir en dos tipos: turbinas de velocidad fija y de velocidad variable. Convencionalmente, las turbinas eólicas de velocidad variable se controlan como fuentes de corriente conectadas a una red eléctrica. En otras palabras, las turbinas eólicas de velocidad variable se basan en una frecuencia de red detectada por un bucle de enganche de fase (PLL) como referencia e inyectan una cantidad específica de corriente en la red. El control de la fuente de corriente convencional de las turbinas eólicas se basa en el supuesto de que las formas de onda de tensión de red son formas de onda de tensión fundamentales con frecuencia y magnitud fijas y que la penetración de la potencia eólica en la red es lo suficientemente baja como para no provocar perturbaciones en la magnitud y frecuencia de tensión de red. Por tanto, las turbinas eólicas simplemente inyectan la corriente especificada en la red en base a las formas de onda de tensión fundamentales. Sin embargo, con el rápido crecimiento de la potencia eólica, la penetración de potencia eólica en algunas redes se ha incrementado hasta el punto en que los generadores de turbina eólica tienen un impacto significativo en la tensión y frecuencia de red. Cuando las turbinas eólicas están localizadas en una red débil, las fluctuaciones de potencia de turbina eólica pueden dar lugar a un incremento en las variaciones de magnitud y frecuencia en la tensión de red. Estas fluctuaciones pueden afectar negativamente al rendimiento y estabilidad del PLL y del control de corriente de turbina eólica.

25

30

35

[0004] Además, la reducción de la proporción de máquinas síncronas con respecto a los recursos basados en inversor, que determinan los parámetros que definen la red, tensión y frecuencia, ha contribuido a disminuir los márgenes de estabilidad. La consecuencia inmediata de los márgenes de estabilidad disminuidos es un colapso de la red al someterse a perturbaciones de tensión y frecuencia en la red.

40

[0005] En consecuencia, muchos recursos basados en inversor existentes, tales como generadores de turbina eólica doblemente alimentados, operan en un modo "seguidor de red". Los dispositivos de tipo seguidor de red utilizan rápidos bucles de regulación de corriente para controlar la potencia activa y reactiva intercambiada con la red. Por tanto, los controles de turbina con convertidores seguidores de red están diseñados para inyectar la potencia máxima disponible a partir del viento, independientemente del equilibrio generación/carga en la red. Más específicamente, la FIG. 1 ilustra los elementos básicos del circuito principal y la estructura de control de convertidor para un generador de turbina eólica doblemente alimentado seguidor de red. Como se muestra, la referencia de potencia activa al convertidor se desarrolla por el regulador de fuente de energía, por ejemplo, la parte de control de turbina de una turbina eólica. Esto se transmite como una referencia de par de torsión que representa la menor de la máxima potencia alcanzable de la fuente de energía en ese instante, o una instrucción de reducción ("curtailment") de un controlador de red de mayor nivel. A continuación, el control de convertidor determina una referencia de corriente para que la componente activa de corriente logre el par de torsión deseado. En consecuencia, el generador de turbina eólica doblemente alimentado incluye funciones que gestionan la tensión y la potencia reactiva de una manera que da como resultado una instrucción para la componente reactiva de la corriente. A continuación, los reguladores de corriente de ancho de banda amplio desarrollan instrucciones para que se aplique tensión por los convertidores al sistema, de modo que las corrientes reales realicen un seguimiento de cerca de las instrucciones.

45

50

55

60

[0006] De forma alternativa, los convertidores de tipo formadores de red proporcionan una característica de fuente de tensión, donde el ángulo y magnitud de la tensión se controlan para lograr las funciones de regulación necesarias por la red. Por tanto, los convertidores formadores de red participan en el equilibrio generación-carga de modo similar a los generadores convencionales basados en máquinas síncronas. Por lo tanto, las turbinas

65

eólicas con controles de convertidor formador de red requieren que los controles de turbina gestionen tanto la salida de potencia del viento disponible como las demandas de potencia de la red. Con esta estructura, la corriente fluirá de acuerdo con las demandas de la red mientras el convertidor contribuye a establecer una tensión y frecuencia para la red. Esta característica es comparable a los generadores convencionales basados en una turbina que acciona una máquina síncrona. Por tanto, una fuente formadora de red debe incluir las siguientes funciones básicas: (1) soportar una tensión y frecuencia de red para cualquier flujo de corriente dentro de la potencia nominal del equipo, tanto real como reactiva; (2) prevenir la operación más allá de la capacidad de tensión o corriente del equipo al permitir que cambie la tensión o frecuencia de red en lugar de desconectar el equipo (la desconexión solo se permite cuando la tensión o frecuencia están fuera de los límites establecidos por la entidad de red); (3) permanecer estable para cualquier configuración de red o característica de carga, incluyendo el servicio de una carga aislada o conectada a otras fuentes formadoras de red, y conmutar entre dichas configuraciones; (4) compartir la carga total de la red entre otras fuentes formadoras de red conectadas a la red; (5) soportar perturbaciones de red, tanto principales como secundarias, y (6) cumplir con los requisitos (1)-(5) sin requerir una rápida comunicación con otros sistemas de control existentes en la red, o señales lógicas creadas externamente relacionadas con cambios en la configuración de red.

**[0007]** La estructura de control básica para lograr los objetivos formadores de red anteriores se desarrolló y probó en el campo para sistemas de baterías a principios de los años 1990 (véase, por ejemplo, la patente de Estados Unidos n.º: 5.798.633 titulada "Battery Energy Storage Power Conditioning System [Sistema de acondicionamiento de potencia por almacenamiento de energía en baterías]"). Se divulgan aplicaciones para generadores eólicos y generadores solares de convertidor completo en la patente de Estados Unidos n.º: 7.804.184 titulada "System and Method for Control of a Grid Connected Power Generating System [Sistema y procedimiento para controlar un sistema de generación de potencia conectado a la red]" y en la patente de Estados Unidos n.º: 9.270.194 titulada "Controller for controlling a power converter [Controlador para controlar un convertidor de potencia]". Se divulgan aplicaciones para el control formador de red para un generador de turbina eólica doblemente alimentado en el documento PCT/US2020/013787 titulado "System and Method for Providing Grid-Forming Control for a Double-Fed Wind Turbine Generator [Sistema y procedimiento para proporcionar un control formador de red para un generador de turbina eólica doblemente alimentado]". Otro ejemplo es el documento EP 3116085.

**[0008]** Como ejemplo, la FIG. 2 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un circuito principal de un sistema formador de red. Como se muestra, el circuito principal incluye un convertidor electrónico de potencia con conexiones en los lados de CC y CA. Este convertidor recibe instrucciones de activación desde un controlador que crea un fasor de tensión de CA  $V_{cnv}$  a un ángulo de  $\theta_{hvcnv}$ . El ángulo es con respecto a un fasor de referencia que tiene una frecuencia fija. El lado de CC se suministra con un dispositivo que puede generar o absorber potencia incluso durante una corta duración. Dichos dispositivos pueden incluir, por ejemplo, baterías, paneles solares, máquinas rotatorias con un rectificador o condensadores. Además, como se muestra, el circuito incluye una impedancia inductiva  $X_{cnv}$  que conecta el convertidor a su punto de interconexión, mostrado como la tensión  $V_t$  y el ángulo  $\theta_{hvt}$  en la FIG. 2. El sistema eléctrico detrás del punto de interconexión se muestra como un equivalente de Thevenin con impedancia  $Z_{thv}$  y tensión  $V_{thv}$  en el ángulo  $\theta_{hvt}$ . Este equivalente se puede usar para representar cualquier circuito, incluidos los circuitos conectados a la red y los aislados con cargas. En situaciones prácticas, la impedancia  $Z_{thv}$  será principalmente inductiva.

**[0009]** Todavía en referencia a la FIG. 2, la parte de circuito cerrado del control principal recibe señales de retroalimentación de la tensión y corriente en el punto de interconexión. Se reciben entradas adicionales de controles de mayor nivel (no mostrados). Aunque la FIG. 2 ilustra un único convertidor como ejemplo, a cualquier grupo de equipos que pueda crear un equivalente eléctrico de una tensión controlada  $V_{cnv}$  detrás de una impedancia  $X_{cnv}$  se le pueden aplicar los esquemas de control divulgados para lograr los mismos beneficios de rendimiento.

**[0010]** En referencia, ahora, a la FIG. 3, se ilustra un diagrama de control para proporcionar un control formador de red de acuerdo con una construcción convencional. Como se muestra, un controlador de convertidor 1 recibe referencias (por ejemplo,  $V_{ref}$  y  $P_{ref}$ ) y límites (por ejemplo,  $V_{cmdLimits}$  y  $P_{cmdLimits}$ ) de controles de mayor nivel 2. Estos límites de alto nivel son cantidades físicas de tensión, corriente y potencia. Los reguladores principales incluyen un regulador de tensión 3 rápido y un regulador de potencia 4 lento. Estos reguladores 3, 4 tienen límites finales aplicados a las instrucciones de control de convertidor para la magnitud de tensión (por ejemplo,  $V_{cnvCmd}$ ) y ángulo (por ejemplo,  $\theta_{Pang}$  y  $\theta_{PLL}$ ) para implementar restricciones en las componentes reactivas y reales de corriente, respectivamente. Además, dichos límites se basan en un valor fijo predeterminado por defecto, con control de bucle cerrado para reducir los límites en caso de que la corriente exceda los límites.

**[0011]** En consecuencia, la presente divulgación está dirigida a sistemas y procedimientos para controlar un recurso basado en inversor que responde a excursiones de frecuencia de red, permitiendo al mismo tiempo maximizar la generación de potencia cuando las condiciones de frecuencia de red son normales.

### Breve descripción

**[0012]** Los aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden ser evidentes a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de la invención. La invención está definida por las características de las reivindicaciones independientes. Los modos de realización preferidos se definen en las reivindicaciones dependientes.

5

**[0013]** En un aspecto, la presente divulgación está dirigida a un procedimiento para controlar un recurso basado en inversor que tiene un convertidor de potencia conectado a una red eléctrica. El procedimiento incluye recibir, por medio de un controlador, una primera señal de límite de potencia para el recurso basado en inversor desde un controlador externo. El procedimiento también incluye recibir, por medio de un módulo de restricción de potencia local del controlador, una segunda señal de límite de potencia para el recurso basado en inversor. Además, el procedimiento incluye determinar, por medio del controlador, una señal de límite de potencia restringido en base a las primera y segunda señales de límite de potencia. Además, el procedimiento incluye aplicar, por medio del controlador, una primera función de estatismo ("droop") de frecuencia a la señal de límite de potencia restringido. El procedimiento también incluye determinar, por medio de un algoritmo de seguimiento de potencia máxima del controlador, al menos una de una señal de referencia de potencia o una señal de referencia de *pitch* para el recurso basado en inversor como una función de una salida de la primera función de estatismo de frecuencia y la señal de límite de potencia restringido. Además, el procedimiento incluye determinar, por medio del controlador, una o más instrucciones de control para el recurso basado en inversor en base a al menos una de la señal de referencia de potencia o de la señal de referencia de *pitch*. Como tal, el procedimiento incluye controlar, por medio del controlador, el recurso basado en inversor en base a las una o más instrucciones de control para soportar una frecuencia de red de la red eléctrica dentro de la potencia disponible en el recurso basado en inversor.

10

15

20

**[0014]** El procedimiento también puede incluir ajustar, por medio del controlador, la señal de referencia de potencia usando una segunda función de estatismo de frecuencia antes de determinar las una o más instrucciones de control.

25

**[0015]** En un modo de realización, una referencia de frecuencia para al menos una de las primera y segunda funciones de estatismo de frecuencia es una versión filtrada de una retroalimentación de frecuencia del recurso basado en inversor. En dichos modos de realización, un ancho de banda de filtro de la primera función de estatismo de frecuencia es mayor que un ancho de banda de filtro de la segunda función de estatismo de frecuencia.

30

**[0016]** En este aspecto, el recurso basado en inversor incluye un sistema de potencia de turbina eólica que tiene al menos un generador. En dichos modos de realización, las una o más instrucciones de control incluyen al menos una de una señal de potencia para un controlador de convertidor del convertidor de potencia o una instrucción de *pitch* para un sistema de *pitch* del sistema de potencia de turbina eólica.

35

**[0017]** En este aspecto, el controlador es un controlador de turbina o un controlador de convertidor del sistema de potencia de turbina eólica.

40

**[0018]** En este aspecto, el procedimiento puede incluir determinar, por medio del módulo de restricción de potencia local del controlador, la segunda señal de límite de potencia para el recurso basado en inversor determinando, por medio del controlador, una compensación para la señal de referencia de potencia para tener en cuenta la operación de estatismo de frecuencia, determinando, por medio del controlador, una señal de referencia de potencia de salida compensada en base a la señal de referencia de potencia, y determinando una referencia de potencia compensada final en base a la compensación para la señal de referencia de potencia y la señal de referencia de potencia de salida compensada.

45

**[0019]** En un modo de realización, determinar la compensación de la señal de referencia de potencia para tener en cuenta la operación de estatismo de frecuencia puede incluir recibir, por medio del controlador, una señal de referencia de red de frecuencia y una señal de retroalimentación de red de frecuencia de la red eléctrica, determinar una diferencia entre la señal de referencia de red de frecuencia y la señal de retroalimentación de red de frecuencia, y aplicar, por medio del controlador, una segunda función de estatismo de frecuencia a la diferencia para determinar la compensación de la señal de referencia de potencia.

50

**[0020]** En otros modos de realización, determinar la compensación de la señal de referencia de potencia para tener en cuenta la operación de estatismo de frecuencia puede incluir compensar, por medio de un primer elemento diferencial filtrado del controlador, una salida de la segunda función de estatismo de frecuencia para determinar la señal de referencia de potencia de salida compensada.

55

**[0021]** En otro modo de realización más, determinar la señal de referencia de potencia de salida compensada en base a la señal de referencia de potencia puede incluir filtrar, por medio del controlador, la señal de referencia de potencia y compensar, por medio de un segundo elemento diferencial filtrado del controlador, la señal de referencia de potencia filtrada para determinar la señal de referencia de potencia de salida compensada.

60

**[0022]** En modos de realización adicionales, el procedimiento puede incluir aplicar un desplazamiento de margen a la referencia de potencia compensada final.

65

[0023] Todavía en otros modos de realización, el procedimiento puede incluir generar, por medio del controlador, una señal de referencia de frecuencia en base a la señal de retroalimentación de red de frecuencia de la red eléctrica, y enviar, por medio del controlador, la señal de referencia de frecuencia a un controlador de convertidor del convertidor de potencia. En dichos modos de realización, la señal de referencia de frecuencia acciona un estatismo de convertidor a cero durante el estado estacionario y el límite de consigna de potencia restringe la consigna de potencia más cerca de la potencia real que se genera por el recurso basado en inversor, permitiendo, de este modo, que la primera función de estatismo de frecuencia responda a las demandas de potencia de la red eléctrica.

[0024] En modos de realización particulares, generar la señal de referencia de frecuencia puede incluir filtrar, por medio de uno o más filtros del controlador, la señal de retroalimentación de red de frecuencia de la red eléctrica. En dichos modos de realización, los uno o más filtros pueden incluir al menos uno de un filtro de paso bajo de primer orden o un filtro de paso bajo de promedio rodante ("rolling-average").

[0025] En un aspecto, la presente divulgación está dirigida a un sistema para controlar un sistema de potencia de turbina eólica que tiene un convertidor de potencia formador de red conectado a una red eléctrica de acuerdo con el procedimiento. El sistema incluye un controlador de turbina que comprende al menos un procesador, el al menos un procesador configurado para realizar una pluralidad de operaciones, incluyendo recibir una primera señal de límite de potencia para el sistema de potencia de turbina eólica desde un controlador externo, recibir una segunda señal de límite de potencia para el sistema de potencia de turbina eólica, determinar una señal de límite de potencia restringido en base a las primera y segunda señales de límite de potencia, aplicar una primera función de estatismo de frecuencia a la señal de límite de potencia restringido, determinar una señal de referencia de potencia para el sistema de potencia de turbina eólica como una función de una salida de la primera función de estatismo de frecuencia y la señal de límite de potencia restringido, ajustar la señal de referencia de potencia usando una segunda función de estatismo de frecuencia, determinar una o más instrucciones de control para el sistema de potencia de turbina eólica en base a la señal de referencia de potencia ajustada, y controlar el sistema de potencia de turbina eólica en base a las una o más instrucciones de control para soportar una frecuencia de red de la red eléctrica dentro de la potencia disponible en el sistema de potencia de turbina eólica. Se debe entender que el sistema puede incluir además cualquiera de las características y/o etapas adicionales descritas en el presente documento.

[0026] Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

#### Breve descripción de los dibujos

[0027] En la memoria descriptiva se expone una divulgación completa y habilitante de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

la FIG. 1 ilustra un diagrama unifilar de un generador de turbina eólica doblemente alimentado con estructura de controles de convertidor para una aplicación seguidora de red de acuerdo con una construcción convencional;

la FIG. 2 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un circuito principal de un sistema formador de red de acuerdo con una construcción convencional;

la FIG. 3 ilustra un diagrama de control para proporcionar un control formador de red de acuerdo con una construcción convencional;

la FIG. 4 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 5 ilustra una vista interna simplificada de un modo de realización de una góndola de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 6 ilustra una vista esquemática de un modo de realización de un sistema de potencia eléctrica de turbina eólica adecuado para su uso con la turbina eólica mostrada en la FIG. 1;

la FIG. 7 ilustra una vista esquemática de un modo de realización de un parque eólico que tiene una pluralidad de turbinas eólicas de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 8 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un controlador de acuerdo con la presente divulgación;

5 la FIG. 9 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un convertidor formador de red para un generador de turbina eólica doblemente alimentado de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 10 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un regulador de potencia inercial con un estatismo de frecuencia de acuerdo con la presente divulgación;

10 la FIG. 11 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de las entradas y salidas principales de un controlador de turbina de un sistema de potencia de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

15 la FIG. 12 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para controlar un sistema de potencia de turbina eólica que tiene un convertidor de potencia conectado a una red eléctrica de acuerdo con la presente divulgación;

20 la FIG. 13 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema para controlar un sistema de potencia de turbina eólica que tiene un convertidor de potencia conectado a una red eléctrica de acuerdo con la presente divulgación; y

25 la FIG. 14 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un módulo de restricción de potencia local para un sistema para controlar un sistema de potencia de turbina eólica que tiene un convertidor de potencia conectado a una red eléctrica de acuerdo con la presente divulgación.

### Descripción detallada

30 **[0028]** Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, ilustrándose uno o más de sus ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. De hecho, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin alejarse del alcance o espíritu de la invención. Por ejemplo, se pueden usar las características ilustradas o descritas como parte de un modo de realización con otro modo de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones que entran dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas y de sus equivalentes.

40 **[0029]** Las centrales de generación de energía térmica convencionales utilizan funciones de control de estatismo de frecuencia para compartir las cargas de potencia activa del sistema entre los generadores conectados al sistema y para soportar la frecuencia del sistema. El control de estatismo de frecuencia se caracteriza por cambiar la generación de potencia activa en proporción a la desviación de la frecuencia de red en una dirección que soporte la frecuencia de red. Las turbinas eólicas modernas basadas en la tecnología de convertidor seguidor de red no utilizan el estatismo de frecuencia con propósitos de compartir la carga con otros generadores, sino que dependen de otros generadores (típicamente, centrales de energía térmica basadas en máquinas síncronas) para gestionar las variaciones en la generación/carga en el sistema. Por tanto, en general, se permite que las turbinas eólicas inyecten la potencia máxima disponible del recurso eólico local independiente de las cargas del sistema. Algunas excepciones a este comportamiento incluyen eventos de mayor frecuencia (anómalos), en los que la salida de potencia de turbina eólica se puede reducir para mitigar cualquier desequilibrio grande en la generación/carga del sistema.

50 **[0030]** La tecnología de convertidor formador de red responde a los cambios en la generación/carga del sistema de modo similar a la generación (térmica) convencional. De forma similar a la generación térmica convencional, el estatismo de frecuencia se usa en los convertidores formadores de red para compartir la carga entre otros recursos formadores de red conectados en paralelo. Sin embargo, a diferencia de la generación de potencia convencional, la cantidad de potencia disponible de las turbinas eólicas es menos predecible debido a las variaciones del viento. Por lo tanto, la cantidad de soporte a la frecuencia del sistema en términos de potencia activa está restringida por las condiciones de viento locales. Por tanto, la presente divulgación está dirigida a sistemas y procedimientos de control de potencia de recursos basados en inversor formadores de red con estatismo de frecuencia que puedan soportar la frecuencia de red mientras que respetan las limitaciones en la disponibilidad de potencial del viento.

60 **[0031]** Como se usa en el presente documento, los recursos basados en inversor, en general, se refieren a dispositivos eléctricos que pueden generar o absorber potencia eléctrica a través de la conmutación de dispositivos electrónicos de potencia. En consecuencia, los recursos basados en inversor pueden incluir generadores de turbina eólica, inversores solares, sistemas de almacenamiento de energía, STATCOM o sistemas de energía hidroeléctrica. Por ejemplo, en un modo de realización, el recurso basado en inversor puede ser un sistema de potencia de turbina eólica que tenga un convertidor de lado de rotor, un convertidor de lado de línea y un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) conectado a la red eléctrica.

**[0032]** En referencia, ahora, a los dibujos, la FIG. 4 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica 10 de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, la turbina eólica 10 incluye, en general, una torre 12 que se extiende desde una superficie de soporte 14, una góndola 16 montada en la torre 12 y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje 20 rotatorio y al menos una pala de rotor 22 acoplada a y que se extiende hacia afuera desde el buje 20. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el rotor 18 incluye tres palas de rotor 22. Sin embargo, en un modo de realización alternativo, el rotor 18 puede incluir más o menos de tres palas de rotor 22. Cada pala de rotor 22 se puede espaciar alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para posibilitar que la energía cinética se transfiera, a partir del viento, en energía mecánica usable y, posteriormente, en energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 20 se puede acoplar de forma rotatoria a un generador eléctrico 24 (FIG. 5) situado dentro de la góndola 16 para permitir que se produzca energía eléctrica.

**[0033]** La turbina eólica 10 también puede incluir un controlador de turbina eólica 26 centralizado dentro de la góndola 16. Sin embargo, en otros modos de realización, el controlador 26 se puede localizar dentro de cualquier otro componente de la turbina eólica 10 o en una localización fuera de la turbina eólica 10. Además, el controlador 26 se puede acoplar en comunicación a cualquier número de componentes de la turbina eólica 10 para controlar la operación de dichos componentes y/o implementar una acción correctora o de control. Como tal, el controlador 26 puede incluir un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por tanto, en varios modos de realización, el controlador 26 puede incluir instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan, configuran el controlador 26 para realizar diversas funciones diferentes, tales como recibir, transmitir y/o ejecutar señales de control de turbina eólica. En consecuencia, el controlador 26 se puede configurar, en general, para controlar los diversos modos de operación (por ejemplo, secuencias de arranque o de apagado), reducir la potencia o aumentar la potencia de la turbina eólica y/o componentes individuales de la turbina eólica 10.

**[0034]** En referencia, ahora, a la FIG. 5, se ilustra una vista interna simplificada de un modo de realización de la góndola 16 de la turbina eólica 10 mostrada en la FIG. 4. Como se muestra, un generador 24 se puede disponer dentro de la góndola 16 y soportar encima de una bancada 46. En general, el generador 24 se puede acoplar al rotor 18 para producir potencia eléctrica a partir de la energía de rotación generada por el rotor 18. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el rotor 18 puede incluir un eje de rotor 34 acoplado al buje 20 para su rotación con el mismo. El eje de rotor 34, a su vez, se puede acoplar de forma rotatoria a un eje de generador 36 del generador 24 a través de una caja de engranajes 38. Como se entiende, en general, el eje de rotor 34 puede proporcionar una entrada de baja velocidad y alto par de torsión a la caja de engranajes 38 en respuesta a la rotación de las palas de rotor 22 y del buje 20. La caja de engranajes 38 se puede configurar, a continuación, para convertir la entrada de baja velocidad y alto par de torsión en una salida de alta velocidad y bajo par de torsión para accionar el eje de generador 36 y, por tanto, el generador 24.

**[0035]** La turbina eólica 10 también puede acoplar uno o más mecanismos de accionamiento de *pitch* 32 en comunicación al controlador de turbina eólica 26, estando configurado cada mecanismo de ajuste de *pitch* 32 para hacer rotar un rodamiento de *pitch* 40 y, por tanto, la(s) pala(s) de rotor 22 individual(es) alrededor de su respectivo eje de *pitch* 28. Además, como se muestra, la turbina eólica 10 puede incluir uno o más mecanismos de accionamiento de orientación 42 configurados para cambiar el ángulo de la góndola 16 con respecto al viento (por ejemplo, acoplado un rodamiento de orientación 44 de la turbina eólica 10 que se dispone entre la góndola 16 y la torre 12 de la turbina eólica 10).

**[0036]** Además, la turbina eólica 10 también puede incluir uno o más sensores 66, 68 para monitorizar diversas condiciones de viento de la turbina eólica 10. Por ejemplo, se puede medir la dirección de viento entrante 52, velocidad del viento o cualquier otra condición de viento adecuada cerca de la turbina eólica 10, tal como a través del uso de un sensor meteorológico adecuado 66. Los sensores meteorológicos adecuados pueden incluir, por ejemplo, dispositivos de distancia y detección por luz ("LIDAR"), dispositivos de distancia y detección por sonido ("SODAR"), anemómetros, veletas, barómetros, dispositivos de radar (tales como dispositivos de radar Doppler) o cualquier otro dispositivo de detección que pueda proporcionar información sobre la dirección del viento, ya conocidos o desarrollados posteriormente en la técnica. Se pueden utilizar todavía otros sensores 68 para medir parámetros operativos adicionales de la turbina eólica 10, tales como tensión, corriente, vibración, etc., como se describe en el presente documento.

**[0037]** En referencia, ahora, a la FIG. 6, se ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de potencia de turbina eólica 100 de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. Aunque la presente divulgación se describirá, en general, en el presente documento con referencia a la turbina eólica 10 mostrada en la FIG. 4, los expertos en la técnica, usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, deben comprender que aspectos de la presente divulgación también pueden ser aplicables en otros sistemas de generación de potencia y, como se menciona anteriormente, que la invención no se limita a sistemas de turbina eólica.

**[0038]** En el modo de realización de la FIG. 6 y, como se menciona, el rotor 18 de la turbina eólica 10 (FIG. 4) opcionalmente se puede acoplar a la caja de engranajes 38 que, a su vez, se acopla a un generador 102, que puede ser un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG). Como se muestra, el DFIG 102 se puede

conectar a un bus de estátor 104. Además, como se muestra, un convertidor de potencia 106 se puede conectar al DFIG 102 por medio de un bus de rotor 108 y al bus de estátor 104 por medio de un bus de lado de línea 110. Como tal, el bus de estátor 104 puede proporcionar una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) desde un estátor del DFIG 102, y el bus de rotor 108 puede proporcionar una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) desde un rotor del DFIG 102. El convertidor de potencia 106 también puede incluir un convertidor de lado de rotor (RSC) 112 y un convertidor de lado de línea (LSC) 114. El DFIG 102 está acoplado por medio del bus de rotor 108 al convertidor de lado de rotor 112. Adicionalmente, el RSC 112 está acoplado al LSC 114 por medio de un enlace de CC 116 por medio del que hay un condensador de enlace de CC 118. El LSC 114, a su vez, está acoplado a un bus de lado de línea 110.

**[0039]** El RSC 112 y el LSC 114 se pueden configurar para el modo de operación normal en una disposición de modulación por ancho de pulso (PWM) trifásica usando uno o más dispositivos de conmutación, tales como elementos de conmutación de transistor bipolar de puerta aislada (IGBT). Además, el convertidor de potencia 106 se puede acoplar a un controlador de convertidor 120 para controlar la operación del convertidor de lado de rotor 112 y/o del convertidor de lado de línea 114 como se describe en el presente documento. Cabe señalar que el controlador de convertidor 120 se puede configurar como una interfaz entre el convertidor de potencia 106 y el controlador de turbina 26 y puede incluir cualquier número de dispositivos de control.

**[0040]** En configuraciones típicas, también se pueden incluir diversos interruptores de línea y disyuntores de circuito, por ejemplo, un disyuntor de red 122 para aislar los diversos componentes según sea necesario para la operación normal del DFIG 102 durante la conexión a y desconexión de una carga, tal como la red eléctrica 124. Por ejemplo, un disyuntor de circuito de sistema 126 puede acoplar un bus de sistema 128 a un transformador 130, que se puede acoplar a la red eléctrica 124 por medio del disyuntor de red 122. En modos de realización alternativos, los fusibles pueden reemplazar a algunos o todos los disyuntores de circuito.

**[0041]** En operación, la potencia de corriente alterna generada en el DFIG 102 al rotar el rotor 18 se proporciona a la red eléctrica 124 por medio de caminos dobles definidos por el bus de estátor 104 y el bus de rotor 108. En el bus de rotor 108, se proporciona potencia de corriente alterna (CA) sinusoidal multifásica (por ejemplo, trifásica) al convertidor de potencia 106. El convertidor de lado de rotor 112 convierte la potencia de CA proporcionada desde el bus de rotor 108 en potencia de corriente continua (CC) y proporciona la potencia de CC al enlace de CC 116. Como se entiende, en general, los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en los circuitos puente del convertidor de lado de rotor 112 se pueden modular para convertir la potencia de CA proporcionada desde el bus de rotor 108 en potencia de CC adecuada para el enlace de CC 116.

**[0042]** Además, el convertidor de lado de línea 114 convierte la potencia de CC en el enlace de CC 116 en potencia de salida de CA adecuada para la red eléctrica 124. En particular, los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en los circuitos puente del convertidor de lado de línea 114 se pueden modular para convertir la potencia de CC del enlace de CC 116 en potencia de CA en el bus de lado de línea 110. La potencia de CA desde el convertidor de potencia 106 se puede restringir con la potencia desde el estátor de DFIG 102 para proporcionar potencia multifásica (por ejemplo, potencia trifásica) que tenga una frecuencia mantenida sustancialmente a la frecuencia de la red eléctrica 124 (por ejemplo, 50 Hz o 60 Hz).

**[0043]** Adicionalmente, diversos disyuntores de circuito y conmutadores, tales como el disyuntor de red 122, disyuntor de sistema 126, conmutador de sincronización de estátor 132, disyuntor de convertidor 134 e interruptor de línea 136 se pueden incluir en el sistema de potencia de turbina eólica 100 para conectar o desconectar los buses correspondientes, por ejemplo, cuando el flujo de corriente es excesivo y puede dañar a los componentes del sistema de potencia de turbina eólica 100 o por otras consideraciones operativas. También se pueden incluir componentes de protección adicionales en el sistema de potencia de turbina eólica 100.

**[0044]** Además, el convertidor de potencia 106 puede recibir señales de control, por ejemplo, del sistema de control local 176 por medio del controlador de convertidor 120. Las señales de control se pueden basar, entre otras cosas, en estados detectados o características de operación del sistema de potencia de turbina eólica 100. Típicamente, las señales de control proporcionan el control de la operación del convertidor de potencia 106. Por ejemplo, se puede usar la retroalimentación en forma de velocidad detectada del DFIG 102 para controlar la conversión de la potencia de salida del bus de rotor 108 para mantener un suministro de potencia multifásica (por ejemplo, trifásica) apropiado y equilibrado. Otra retroalimentación de otros sensores se puede usar por el/los controlador(es) 120, 26 para controlar el convertidor de potencia 106, incluyendo, por ejemplo, retroalimentaciones de corriente y tensiones de bus de rotor y estátor. Usando las diversas formas de información de retroalimentación, se pueden generar señales de control de conmutación (por ejemplo, instrucciones de temporización de puerta para los IGBT), señales de control de sincronización de estátor y señales de disyuntor de circuito.

**[0045]** El convertidor de potencia 106 también compensa o ajusta la frecuencia de la potencia trifásica del rotor, por ejemplo, en cuanto a los cambios en la velocidad del viento en el buje 20 y en las palas de rotor 22. Por lo tanto, las frecuencias de rotor mecánicas y eléctricas se desacoplan y la coincidencia de frecuencia eléctrica de estátor y rotor sustancialmente se facilita independientemente de la velocidad de rotor mecánica.

[0046] En algunos estados, las características bidireccionales del convertidor de potencia 106, y específicamente, las características bidireccionales del LSC 114 y el RSC 112, facilitan la retroalimentación de al menos parte de la potencia eléctrica generada al rotor de generador. Más específicamente, la potencia eléctrica se puede transmitir desde el bus de estátor 104 al bus de lado de línea 110 y, posteriormente, a través del contactor de línea 136 y al convertidor de potencia 106, específicamente el LSC 114 que actúa como un rectificador y rectifica la potencia de CA trifásica sinusoidal a potencia de CC. La potencia de CC se transmite al enlace de CC 116. El condensador 118 facilita la mitigación de las variaciones de amplitud de tensión de enlace de CC facilitando la mitigación de un rizado ("ripple") de CC a veces asociado con la rectificación de CA trifásica.

[0047] La potencia de CC se transmite posteriormente al RSC 112 que convierte la potencia eléctrica de CC en una potencia eléctrica de CA sinusoidal trifásica ajustando tensiones, corrientes y frecuencias. Esta conversión se monitoriza y controla por medio del controlador de convertidor 120. La potencia de CA convertida se transmite desde el RSC 112 por medio del bus de rotor 108 al rotor de generador. De esta manera, el control de potencia reactiva de generador se facilita al controlar la corriente y tensión de rotor.

[0048] En referencia, ahora, a la FIG. 7, el sistema de potencia de turbina eólica 100 descrito en el presente documento puede ser parte de un parque eólico 50. Como se muestra, el parque eólico 50 puede incluir una pluralidad de turbinas eólicas 52, incluyendo la turbina eólica 10 descrita anteriormente, y un controlador a nivel de parque 56 global. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el parque eólico 50 incluye doce turbinas eólicas, incluyendo la turbina eólica 10. Sin embargo, en otros modos de realización, el parque eólico 50 puede incluir cualquier otro número de turbinas eólicas, tal como menos de doce turbinas eólicas o más de doce turbinas eólicas. En un modo de realización, los controladores de turbina de la pluralidad de turbinas eólicas 52 se acoplan en comunicación al controlador a nivel de parque 56, por ejemplo, a través de una conexión por cable, tal como conectando el controlador de turbina 26 a través de enlaces comunicativos 54 adecuados (por ejemplo, un cable adecuado). De forma alternativa, los controladores de turbina se pueden acoplar en comunicación al controlador a nivel de parque 56 a través de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. En otros modos de realización, el controlador a nivel de parque 56 está configurado para enviar y recibir señales de control hacia y desde las diversas turbinas eólicas 52 tal como, por ejemplo, distribuyendo demandas de potencia real y/o reactiva a través de las turbinas eólicas 52 del parque eólico 50.

[0049] En referencia, ahora, a la FIG. 8, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de componentes adecuados que se pueden incluir dentro del controlador (tal como uno cualquiera del controlador de convertidor 120, del controlador de turbina 26 y/o del controlador a nivel de parque 56 descrito en el presente documento) de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente divulgación. Como se muestra, el controlador puede incluir uno o más procesadores 58, ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada y dispositivo(s) de memoria asociado(s) 60 que pueden incluir instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan, configuran el controlador para realizar diversas funciones diferentes, tales como recibir, transmitir y/o ejecutar señales de control de turbina eólica (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares divulgados en el presente documento).

[0050] Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como incluidos en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador de lógica programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables. Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 60 puede(n) incluir, en general, (un) elemento(s) de memoria, incluyendo, pero sin limitarse a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio (RAM)), un medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*), un disquete, una memoria de solo lectura-disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados.

[0051] Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 60 se puede(n) configurar, en general, para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 58, configuran el controlador para realizar las diversas funciones como se describe en el presente documento. Adicionalmente, el controlador también puede incluir una interfaz de comunicaciones 62 para facilitar las comunicaciones entre el controlador y los diversos componentes de la turbina eólica 10. Una interfaz puede incluir uno o más circuitos, terminales, clavijas, contactos, conductores u otros componentes para enviar y recibir señales de control. Además, el controlador puede incluir una interfaz de sensor 64 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde los sensores 66, 68 se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por el/los procesador(es) 58.

[0052] En referencia, ahora, a la FIG. 9, se ilustra un sistema 200 para proporcionar un control formador de red de un generador doblemente alimentado de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación. En particular, la FIG. 9 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización del sistema 200 de acuerdo con la presente divulgación, ilustrando, en particular, un diagrama unifilar del generador de turbina eólica doblemente alimentado 102 con una estructura de control de alto nivel para características formadoras de red.

**[0053]** Como se muestra, el sistema 200 puede incluir muchas de las mismas características de la FIG. 6 descritas en el presente documento, con componentes que tengan los mismos caracteres de referencia que representan componentes similares. Además, como se muestra, el sistema 200 puede incluir una estructura de control para controlar el convertidor de lado de línea que sea similar a la estructura de control mostrada en la FIG. 1. Más en particular, como se muestra, la estructura de control de convertidor de lado de línea puede incluir un regulador de CC 212 y un regulador de corriente de línea 214. El regulador de CC 212 está configurado para generar instrucciones de corriente de lado de línea para el regulador de corriente de línea 214. A continuación, el regulador de corriente de línea 214 genera instrucciones de tensión de lado de línea para un modulador 218. El modulador 218 también recibe una salida (por ejemplo, un ángulo de bucle de enganche de fase) desde un bucle de enganche de fase 216 para generar uno o más pulsos de puerta para el convertidor de lado de línea 114. El bucle de enganche de fase 216 típicamente genera su salida usando una señal de retroalimentación de tensión.

**[0054]** Además, como se muestra, el sistema 200 también puede incluir una única estructura de control para controlar el convertidor de lado de rotor 112 usando características formadoras de red. En particular, como se muestra en las FIG. 9, el sistema 200 puede incluir un regulador de tensión de estátor 206 para proporcionar dichas características formadoras de red. Además, como se muestra, el sistema 200 puede incluir un regulador de VAR/tensión de red 202, un regulador de potencia inercial 204, un regulador de corriente de rotor 208 y un modulador 210.

**[0055]** Más en particular, el sistema 200 incluye una estructura de regulador de corriente de bucle interior y un regulador de tensión de estátor rápido para convertir las instrucciones de tensión de los controles formadores de red en instrucciones de regulador de corriente de rotor. Por tanto, el sistema de la presente divulgación proporciona un control de la tensión de rotor del generador de turbina eólica doblemente alimentado 102 para cumplir con una instrucción de mayor nivel para la magnitud y el ángulo de la tensión de estátor. Dicho control debe ser relativamente rápido e insensible a la corriente que fluye en el estátor del generador de turbina eólica doblemente alimentado 102.

**[0056]** Además, en un modo de realización, el regulador de potencia inercial 204 de este sistema 200 implementa diversas funciones, incluyendo (1) seguir la referencia de potencia activa suministrada por el control de turbina, y (2) compartir potencia entre otros recursos conectados en paralelo. Seguir la referencia de potencia activa suministrada por el control de turbina se logra prácticamente a través de la modificación de la instrucción de ángulo del control de tensión de estátor, mientras que compartir la potencia entre otros recursos conectados en paralelo se logra prácticamente a través de un estatismo de frecuencia.

**[0057]** En referencia, ahora, a la FIG. 10, se proporciona un diagrama de bloques ampliado del regulador de potencia inercial 204 con estatismo de frecuencia. Como se muestra, la señal de referencia de frecuencia  $\omega_{REF}$  y la señal de frecuencia de bucle de enganche de fase  $\omega_{PLL}$  se restringen para generar la señal de error de frecuencia  $E_{\omega}$ . Como se puede observar, la señal  $\omega_{PLL}$ , que representa la frecuencia real de la salida del inversor, se resta de la señal  $\omega_{REF}$  en una unión sumadora 222 para generar la señal de error  $E_{\omega}$ . Se proporciona la señal de error  $E_{\omega}$  a un circuito de polarización de frecuencia que tiene un primer bucle de control que incluye un regulador proporcional más integral 224 convencional y un circuito de banda inactiva 226. El circuito de inactiva 226 proporciona cierto intervalo de variación de la señal de error de frecuencia, por ejemplo, aproximadamente 1/2 Hz sin ningún cambio en la señal de salida. Esto limita la respuesta debido a las fluctuaciones naturales de la frecuencia del sistema de potencia. El regulador proporcional más integral 224 convierte la señal de error en una señal de polarización convencional que se aplica a una unión sumadora 220.

**[0058]** Un segundo bucle incluye un circuito de estatismo proporcional 228 que puede ser un amplificador con una ganancia fija que reciba la señal de error  $E_{\omega}$  y proporcione una señal de compensación inmediata a la unión sumadora 220, añadiéndose la señal de compensación a la señal de salida del regulador proporcional más integral 224. La salida de la unión sumadora 230 es una señal de desplazamiento de potencia que está acoplada a una unión sumadora 232 cuya otra entrada es la señal de referencia de potencia  $P_{REF}$ . En consecuencia, la señal de desplazamiento de frecuencia de la unión sumadora 220 sirve para modificar la señal de referencia de potencia  $P_{REF}$ . El propósito de dicha modificación es ajustar la señal de referencia de potencia  $P_{REF}$  como una función de las variaciones de frecuencia. Más en particular, la intención del sistema es intentar mantener constante la frecuencia de salida del sistema de modo que si hay un error entre la frecuencia de salida y la frecuencia de referencia, la señal de referencia de potencia  $P_{REF}$  se ajuste para compensar el error de frecuencia.

**[0059]** Por tanto, como se muestra, el circuito de estatismo proporcional 228 modifica la referencia de potencia  $P_{REF}$  del control de turbina añadiendo un término de estatismo (es decir, la salida de 230) determinado por la diferencia entre la referencia de frecuencia y la frecuencia real. En condiciones normales, la frecuencia de red está cerca de la nominal y el término de estatismo es cero. Cuando hay un desequilibrio entre la generación y la carga, la frecuencia de red se puede desviar de la nominal y el término de estatismo provocará que el convertidor de potencia 106 genere una potencia diferente de la referencia de potencia  $P_{REF}$  desde el control de turbina. El impacto de esta desviación de potencia en el control de turbina pueden ser cambios no pretendidos en la velocidad del tren de potencia, potencialmente dando lugar a desconexiones de la turbina eólica 10.

**[0060]** Todavía en referencia a la FIG. 10, el regulador de potencia 204 también introduce un regulador inercial 234 que modifica la señal de error de potencia para simular la inercia de las máquinas síncronas. Más en particular, el regulador inercial 204 previene repentinos cambios de frecuencia o cambios de potencia que puedan provocar que se generen pares de torsión transitorios por los motores acoplados a la salida del inversor si se experimentan repentinos cambios en la salida del inversor. El regulador inercial 234 puede incluir un circuito electrónico convencional que tenga las características de un elemento diferencial filtrado en el que su señal de salida se incremente gradualmente en respuesta a un incremento de la señal de entrada.

**[0061]** Si la señal de referencia de potencia se modifica por el circuito de polarización (“bias”) de frecuencia, la señal resultante identificada como  $P_{ORD}$  se desarrolla en un terminal de salida de la unión sumadora 232 y se aplica a un circuito sumador 236 donde la potencia instruida o potencia comandada se compara con la potencia de salida medida  $P_B$  del sistema. Cabe señalar aquí que la señal  $P_B$  representa la potencia real desarrollada en la salida del inversor. La señal de salida del circuito sumador 236 representa la señal de error de potencia que se aplica al regulador inercial 234. La señal desarrollada por el regulador inercial como se describe anteriormente representa la frecuencia deseada  $\omega_1$  de la tensión interna  $E_1$  y, si la frecuencia se sigue apropiadamente, será la misma que la frecuencia  $\omega_{PLL}$ . A este respecto, la señal  $\omega_1$  desarrollada en la salida del regulador inercial 234 se suma en una unión sumadora 238 con la señal  $\omega_{PLL}$ . Cualquier diferencia entre la frecuencia de bucle de enganche de fase y la señal  $\omega_1$  da como resultado una señal de error que se aplica a un elemento diferencial filtrado 240 para desarrollar la señal  $\delta_{IT}$ . En dichos modos de realización, el elemento diferencial filtrado 240 puede ser un tipo convencional de elemento diferencial filtrado cuya señal de salida  $\delta_{IT}$  sea un desplazamiento de ángulo que se pueda sumar con la señal de salida del bucle de enganche de fase para generar la señal de salida  $\theta_1$ .

**[0062]** En referencia, ahora, a la FIG. 11, se proporciona un diagrama de bloques simplificado de las principales entradas y salidas del controlador de turbina 26. En un modo de realización, el objetivo principal del controlador de turbina 26 es maximizar la potencia generada por el generador 102 en base a la potencia disponible del viento y dentro de la restricción de potencia impuesta por el límite de consigna de potencia  $P_{wrSet}$ . Típicamente, el controlador de turbina 26 logra este objetivo regulando la velocidad y la potencia activa del generador 102. Por tanto, el controlador de turbina 26 utiliza algoritmos de seguimiento del punto de potencia máxima para determinar una referencia de potencia para el controlador de convertidor 120 y una instrucción de *pitch* para el control de *pitch* para lograr estos objetivos de control.

**[0063]** En condiciones de red normales, la consigna de potencia ( $P_{wrSet}$ ) se establece en la potencia nominal del generador 102. El controlador de turbina 26 ajusta las referencias de potencia de convertidor y *pitch* para maximizar la salida de potencia dentro de la consigna de potencia. Por lo tanto, la potencia real se puede desviar significativamente de la consigna en base a las condiciones de viento, pero, en general, está por debajo de la consigna de potencia. En condiciones de reducción, la consigna de potencia se reduce por debajo de la potencia nominal, pero los controles continúan operando del mismo modo, pero están restringidos a una menor potencia. Cabe señalar que la consigna de potencia también se puede interpretar como un límite de potencia, ya que se permite que el controlador produzca tanta potencia como sea posible dentro de esta restricción.

**[0064]** Los cambios incluyen tres elementos principales: (1) una restricción local combinada con el límite de consigna de potencia para obtener un límite de potencia restringido, (2) referencia de frecuencia suministrada al convertidor formador de red ( $\omega_{REF}$ ) en base a la retroalimentación de frecuencia de red filtrada, y (3) ajuste de estatismo de frecuencia ( $P_{dpr}$ ) al límite de consigna de potencia restringido. La primera función de estatismo de frecuencia ajusta el límite de consigna de potencia restringido para soportar la frecuencia de red, como las funciones de control de estatismo convencionales en otros tipos de generadores.

**[0065]** Por tanto, determinadas modificaciones al controlador de turbina y convertidor 26 y procedimientos de operación del mismo se proporcionan por la presente divulgación. En particular, y en referencia, ahora, a las FIGS. 12 y 13, se proporcionan un procedimiento 300 y un sistema 400 para controlar un recurso basado en inversor que tiene un convertidor de potencia formador de red conectado a una red eléctrica de acuerdo con la presente divulgación.

**[0066]** En referencia, en particular, a las FIGS. 12-14, se proporcionan un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 300 y diagramas esquemáticos de un sistema 400 para controlar un recurso basado en inversor que tiene un convertidor de potencia formador de red conectado a una red eléctrica de acuerdo con la presente divulgación. Por tanto, el procedimiento 300 de la presente divulgación se puede entender mejor con referencia al sistema 400 ilustrado en las FIGS. 13 y 14, que ilustra las modificaciones al controlador de recurso basado en inversor 26 para aplicaciones formadoras de red. Como se menciona, las modificaciones incluyen, al menos, (1) una restricción local combinada con el límite de consigna de potencia para obtener un límite de potencia restringido, (2) una referencia de frecuencia suministrada al convertidor formador de red ( $\omega_{REF}$ ) en base a la retroalimentación de frecuencia de red filtrada, y (3) un ajuste de estatismo de frecuencia ( $P_{dpr}$ ) al límite de consigna de potencia restringido.

**[0067]** En consecuencia, en dichos modos de realización, la función de estatismo de frecuencia ajusta el límite de consigna de potencia para soportar la frecuencia de red, como las funciones de control de estatismo

convencionales en otros tipos de generadores. Además, como se muestra, la referencia de frecuencia suministrada al controlador de convertidor 120 se basa en una versión filtrada de la retroalimentación de frecuencia de red. Por tanto, esta referencia de frecuencia recién suministrada está configurada para accionar el estatismo del convertidor a cero durante el estado estacionario, lo que permite que el estatismo de frecuencia en el controlador de turbina 26 responda a las demandas de potencia de la red eléctrica. Además, el nuevo límite de potencia restringido se acerca más a la potencia real que se genera a por el generador 102, permitiendo, de este modo, que la función de estatismo ajuste la potencia alejándose de la salida actual en base a la frecuencia de red.

**[0068]** En referencia, en particular, a la FIG. 12, en un modo de realización, por ejemplo, el recurso basado en inversor puede ser un sistema de potencia de turbina eólica que tenga al menos un convertidor de potencia acoplado a un generador. En general, el procedimiento 300 se describe en el presente documento con referencia al sistema de potencia de turbina eólica 100 de las FIGS. 4-11. Sin embargo, se debe apreciar que el procedimiento 300 divulgado se puede implementar con cualquier otro sistema de generación de potencia adecuado que tenga cualquier otra configuración adecuada. Además, el procedimiento 300 se puede implementar usando el controlador de turbina 26, el controlador de convertidor 120 o cualquier otro dispositivo de control adecuado o combinaciones de los mismos. Además, aunque la FIG. 12 represente las etapas realizadas en un orden particular para propósitos de ilustración y análisis, los procedimientos analizados en el presente documento no se limitan a ningún orden o disposición particular. Un experto en la técnica, usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, apreciará que diversas etapas de los procedimientos divulgados en el presente documento se pueden omitir, reorganizar, combinar y/o adaptar de diversas maneras sin desviarse del alcance de la presente divulgación.

**[0069]** Como se muestra en (302), el procedimiento 300 incluye recibir una primera señal de límite de potencia para el recurso basado en inversor desde un controlador externo. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 13, el controlador de turbina 26 recibe el primer límite de potencia Power Limit\_1 del controlador a nivel de parque 156. En referencia, de nuevo, a la FIG. 12, como se muestra en (304), el procedimiento 300 incluye recibir, por medio de un módulo de restricción de potencia local del controlador, una segunda señal de límite de potencia para el recurso basado en inversor. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 13, el controlador de turbina 26 puede incluir un módulo de restricción de potencia local 402 que genere el segundo límite de potencia Power\_Limit\_2 para el controlador de turbina 26.

**[0070]** En referencia, de nuevo, a la FIG. 12, como se muestra en (306), el procedimiento 300 incluye determinar, por medio del controlador, una señal de límite de potencia restringido en base a las primera y segunda señales de límite de potencia. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 13, el módulo mínimo 404 está configurado para determinar la señal de límite de potencia restringido 406 como una función de las primera y segunda señales de límite de potencia.

**[0071]** En referencia, de nuevo, a la FIG. 12, como se muestra en (308), el procedimiento 300 incluye aplicar, por medio del controlador, una primera función de estatismo de frecuencia a la señal de límite de potencia restringido 406. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 13, el controlador de turbina 26 puede incluir la primera función de estatismo de frecuencia 408 que se puede aplicar a la señal de límite de potencia restringido 406. En dichos modos de realización, la primera función de estatismo de frecuencia 408, en general, incluye uno o más ajustes de parámetros que definen la cantidad de cambio de potencia a partir de la desviación en la frecuencia de red.

**[0072]** En referencia, de nuevo, a la FIG. 12, como se muestra en (310), el procedimiento 300 incluye determinar, por medio de un algoritmo de seguimiento de potencia máxima del controlador, al menos una de una señal de referencia de potencia o una señal de referencia de *pitch* para el recurso basado en inversor como una función de una salida de la primera función de estatismo de frecuencia 408 y la señal de límite de potencia restringido 406. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 13, el controlador de turbina 26 puede incluir el algoritmo de seguimiento de potencia máxima 410 que puede determinar la señal de referencia de potencia Power\_ref para el controlador de convertidor 120 usando la salida 412 de la primera función de estatismo de frecuencia 408 y la señal de límite de potencia restringido 406.

**[0073]** En referencia, de nuevo, a la FIG. 12, como se muestra en (312), el procedimiento 300 incluye ajustar la señal de referencia de potencia usando una segunda función de estatismo de frecuencia 416. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 13, el controlador de convertidor 120 puede incluir un módulo regulador de potencia 414 que reciba la señal de referencia de potencia Power\_ref y una salida de la segunda función de estatismo de frecuencia 416 que se puede usar para ajustar la señal de referencia de potencia.

**[0074]** Además, como se muestra en la FIG. 13, una referencia de frecuencia (por ejemplo, FrqRef1, FrqRef1) para al menos una de las primera y segunda funciones de estatismo de frecuencia 408, 416 puede ser una versión filtrada de una retroalimentación de frecuencia (por ejemplo, FrqFbk1, FrqFbk2) del recurso basado en inversor. Además, en un modo de realización, un ancho de banda de filtro de la primera función de estatismo de frecuencia 408 puede ser menor que un ancho de banda de filtro de la segunda función de estatismo de frecuencia 416.

**[0075]** Más específicamente, como se muestra en la FIG. 14, se ilustran diversos componentes del módulo regulador de potencia 414 descrito en el presente documento. Como se muestra, el módulo regulador de potencia

414 está configurado para determinar la segunda señal de límite de potencia  $Power\_Limit\_2$  para el recurso basado en inversor determinando una compensación para la señal de referencia de potencia  $Power\_Ref$  para tener en cuenta la operación de estatismo de frecuencia y determinando una señal de referencia de potencia de salida compensada  $PrefCmpO$  en base a la señal de referencia de potencia  $Power\_Ref$ . En dichos modos de realización, determinar la compensación de la señal de referencia de potencia  $Power\_Ref$  para tener en cuenta la operación de estatismo de frecuencia puede incluir recibir una señal de referencia de red de frecuencia  $\omega_{gridRef}$  y una señal de retroalimentación de red de frecuencia  $\omega_{gridFbk}$  de la red eléctrica, determinar una diferencia entre la señal de referencia de red de frecuencia  $\omega_{gridRef}$  y la señal de retroalimentación de red de frecuencia  $\omega_{gridFbk}$  por medio de la unión sumadora y aplicar una función de estatismo de frecuencia a la diferencia para determinar la compensación de la señal de referencia de potencia  $Pdrpcmp$ .

**[0076]** En otro modo de realización, como se muestra, determinar la compensación de la señal de referencia de potencia  $Pdrpcmp$  para tener en cuenta la operación de estatismo de frecuencia también puede incluir compensar, por medio de un primer elemento diferencial filtrado, una salida de una función de estatismo de frecuencia. Además, en un modo de realización, como se muestra, la señal de referencia de potencia de salida compensada  $PrefCmpO$  se puede determinar en base a la señal de referencia de potencia  $Power\_Ref$  filtrando la señal de referencia de potencia  $Power\_Ref$  por medio de uno o más filtros y compensando, por medio de un segundo elemento diferencial filtrado, la señal de referencia de potencia filtrada para determinar la señal de referencia de potencia de salida compensada  $PrefCmpO$ .

**[0077]** Por tanto, como se muestra en la unión sumadora, la compensación de la señal de referencia de potencia  $Pdrpcmp$  y la señal de referencia de potencia de salida compensada  $PrefCmpO$  se pueden sumar entre sí para determinar una referencia de potencia compensada final  $PrefCmp1$ . En consecuencia, como se muestra en la unión sumadora, se puede añadir un margen de desplazamiento  $PrefMrg$  a la referencia de potencia compensada final  $PrefCmp1$  para ayudar a prevenir una limitación no pretendida de la consigna de potencia  $PwrSet$  debido a cambios en la velocidad del viento. La salida de la unión sumadora es, entonces, el segundo límite de potencia,  $Power\_Limit\_2$ .

**[0078]** En referencia, de nuevo, a la FIG. 12, como se muestra en (314), el procedimiento 300 incluye determinar una o más instrucciones de control para el recurso basado en inversor en base a al menos una de la señal de referencia de potencia ajustada o de la señal de referencia de *pitch*. Por ejemplo, en un modo de realización, como se muestra en la FIG. 13, la(s) instrucción/instrucciones de control pueden incluir una señal de regulación de potencia (por ejemplo,  $PregACTUATOR$ ) para un controlador de convertidor 120 o una instrucción de *pitch* para un sistema de *pitch* del sistema de potencia de turbina eólica 100. Por tanto, en dichos modos de realización, la salida 418 del módulo regulador de potencia 414 puede corresponder a la(s) instrucción/instrucciones de control. En referencia, de nuevo, a la FIG. 12, como se muestra en (316), el procedimiento 300 incluye controlar el recurso basado en inversor en base a las una o más instrucciones de control para soportar una frecuencia de red de la red eléctrica dentro de la potencia disponible en el recurso basado en inversor.

**[0079]** Esta descripción por escrito usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para posibilitar que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Se pretende que dichos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si incluyen elementos estructurales que no difieran del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias no sustanciales de los lenguajes literales de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento (300) para controlar un recurso basado en inversor (100) que tiene un convertidor de potencia (106) conectado a una red eléctrica, comprendiendo el recurso basado en inversor un sistema de potencia de turbina eólica (100) que tiene al menos un generador de inducción doblemente alimentado (102), DFIG, conectable a la red eléctrica, siendo el sistema de potencia de turbina eólica (100) parte de un parque eólico (50) que comprende un controlador a nivel de parque (56, 156), el procedimiento se **caracteriza por** comprender:

10 recibir (302), por medio de un controlador (26, 120) que comprende al menos uno de un controlador de turbina (26) y un controlador de convertidor (120) del sistema de potencia de turbina eólica (100), una primera señal de límite de potencia (Power\_Limit\_1) para el recurso basado en inversor desde el controlador a nivel de parque (56, 156);

15 recibir (304), por medio de un módulo de restricción de potencia local (402) del controlador (26, 120), una segunda señal de límite de potencia (Power\_Limit\_2) para el recurso basado en inversor;

20 determinar (306), por medio del controlador (26, 120), una señal de límite de potencia restringido (406) en base a las primera y segunda señales de límite de potencia (Power\_Limit\_1, Power\_Limit\_2);

25 aplicar (308), por medio del controlador (26, 120), una primera función de estatismo de frecuencia (408) a la señal de límite de potencia restringido (406);

determinar (310), por medio de un algoritmo de seguimiento de potencia máxima del controlador (26, 120), al menos una de una señal de referencia de potencia (Power\_ref) y una señal de referencia de *pitch* para el recurso basado en inversor como una función de una salida de la primera función de estatismo de frecuencia (408) y la señal de límite de potencia restringido (406);

30 determinar (314), por medio del controlador (26, 120), una o más instrucciones de control (PregACTUATOR) para el recurso basado en inversor en base a al menos una de la señal de referencia de potencia (POWER\_Ref) y de la señal de referencia de *pitch*; y

35 controlar (316), por medio del controlador (26, 120), el recurso basado en inversor en base a las una o más instrucciones de control (PregACTUATOR) para soportar una frecuencia de red de la red eléctrica dentro de la potencia disponible en el recurso basado en inversor (100).
- 40 2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además ajustar (312), por medio del controlador (26, 120), la señal de referencia de potencia (POWER\_Ref) usando una segunda función de estatismo de frecuencia (416) antes de determinar las una o más instrucciones de control (PregACTUATOR).
- 45 3. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que una referencia de frecuencia (FrqRef1, FrqRef2) para al menos una de las primera y segunda funciones de estatismo de frecuencia (408, 416) es una versión filtrada de una retroalimentación de frecuencia (FrqFbk1, FrqFbk2) del recurso basado en inversor.
- 50 4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que un ancho de banda de filtro de la primera función de estatismo de frecuencia (408) es mayor que un ancho de banda de filtro de la segunda función de estatismo de frecuencia (416).
- 55 5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que las una o más instrucciones de control (PregACTUATOR) comprenden al menos una de una señal de potencia para el controlador de convertidor (120) del convertidor de potencia y una instrucción de *pitch* (PITCHCmd) para un sistema de *pitch* del sistema de potencia de turbina eólica (100).
- 60 6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además: determinar, por medio del módulo de restricción de potencia local (402) del controlador, la segunda señal de límite de potencia (Power\_Limit\_2) para el recurso basado en inversor:

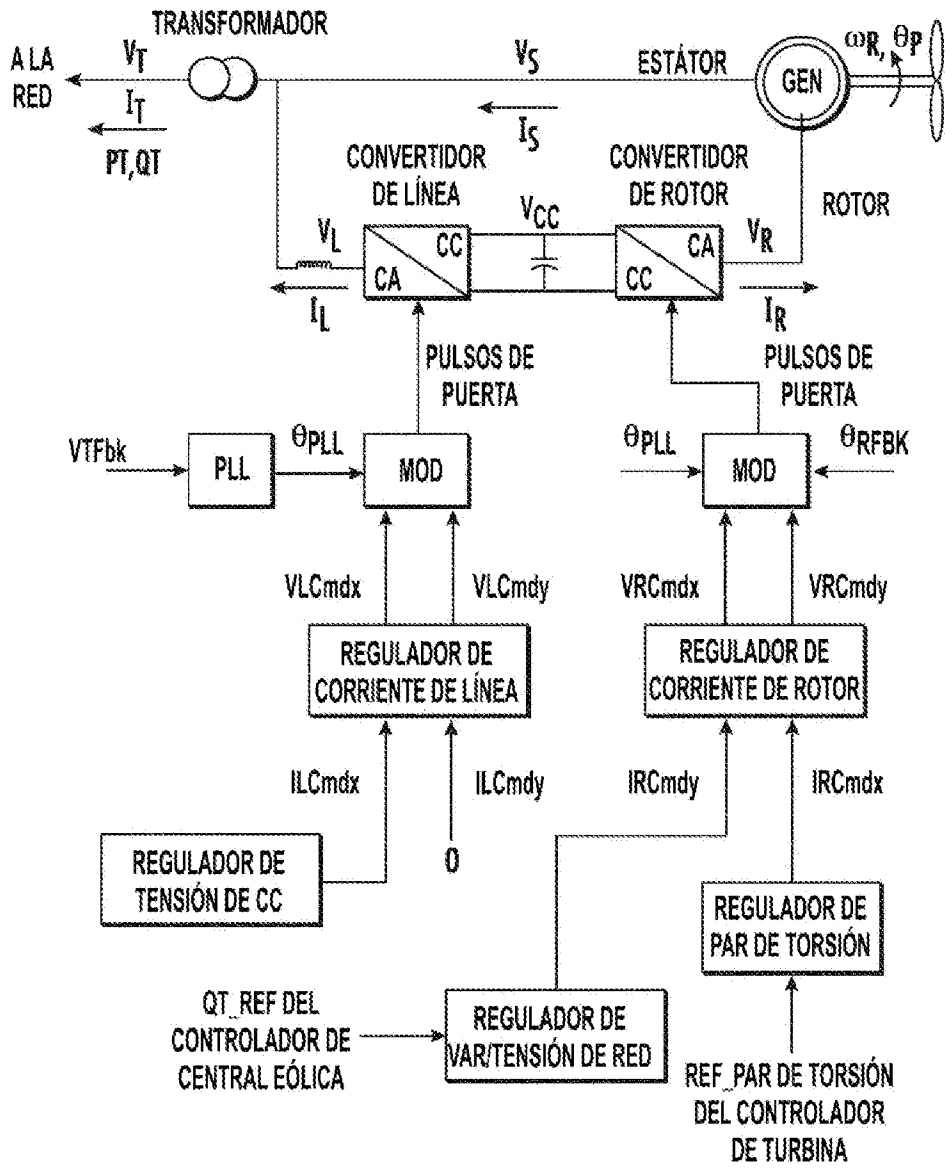
determinando, por medio del controlador (26, 120), una compensación (Pdrpcmp) para la señal de referencia de potencia (Power\_Ref) para tener en cuenta la operación de estatismo de frecuencia;

determinando, por medio del controlador (26, 120), una señal de referencia de potencia de salida compensada (PrefCmpO) en base a la señal de referencia de potencia (Power\_Ref); y

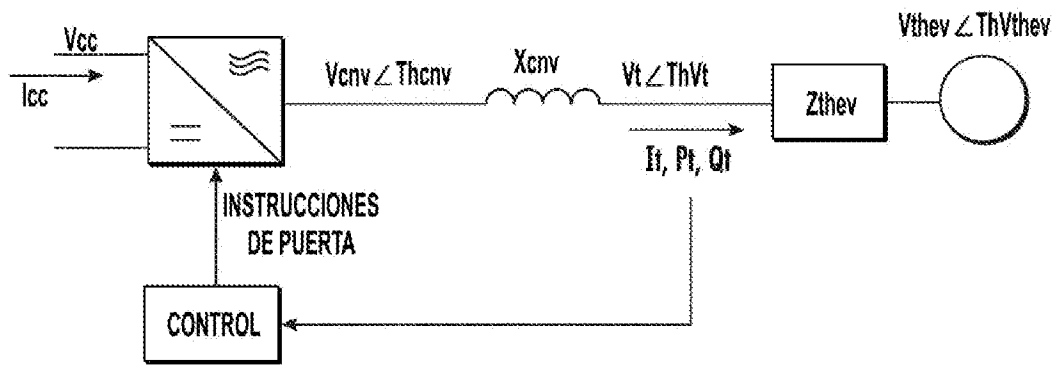
determinando una referencia de potencia compensada final (PrefCmp1) en base a la compensación (Pdrpcmp) para la señal de referencia de potencia y la señal de referencia de potencia de salida compensada (PrefCmpO).

- 5 7. El procedimiento de la reivindicación 6, en el que determinar la compensación (Pdrpcmp) para la señal de referencia de potencia para tener en cuenta la operación de estatismo de frecuencia comprende además:
- 10 recibir, por medio del controlador (26, 120), una señal de referencia de red de frecuencia ( $\omega_{gridRef}$ ) y una señal de retroalimentación de red de frecuencia ( $\omega_{gridFbk}$ ) de la red eléctrica;
- determinar una diferencia entre la señal de referencia de red de frecuencia ( $\omega_{gridRef}$ ) y la señal de retroalimentación de red de frecuencia ( $\omega_{gridFbk}$ ); y
- 15 aplicar, por medio del controlador (26, 120), una segunda función de estatismo de frecuencia (416) a la diferencia para determinar la compensación (Pdrpcmp) para la señal de referencia de potencia.
8. El procedimiento de la reivindicación 6 o 7, en el que determinar la compensación (Pdrpcmp) para la señal de referencia de potencia para tener en cuenta la operación de estatismo de frecuencia comprende además:
- 20 compensar, por medio de un primer elemento diferencial filtrado del controlador (26, 120), una salida de la segunda función de estatismo de frecuencia para determinar la señal de referencia de potencia de salida compensada (PrefCmpO).
9. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que determinar la señal de referencia de potencia de salida compensada (PrefCmpO) en base a la señal de referencia de potencia comprende además:
- 25 filtrar, por medio del controlador (26, 120), la señal de referencia de potencia; y
- 30 compensar, por medio de un segundo elemento diferencial filtrado del controlador (26, 120), la señal de referencia de potencia filtrada para determinar la señal de referencia de potencia de salida compensada (PrefCmpO).
10. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, que comprende además aplicar un desplazamiento de margen a la referencia de potencia compensada final (PrefCmp 1).
- 35 11. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, que comprende además:
- 40 generar, por medio del controlador (26, 120), una señal de referencia de frecuencia ( $\omega_{REF}$ ) en base a la señal de retroalimentación de red de frecuencia ( $\omega_{gridFbk}$ ) de la red eléctrica; y
- enviar, por medio del controlador (26, 120), la señal de referencia de frecuencia ( $\omega_{REF}$ ) al controlador de convertidor (120) del convertidor de potencia,
- 45 en el que la señal de referencia de frecuencia ( $\omega_{REF}$ ) acciona un estatismo de convertidor a cero durante el estado estacionario y un límite de consigna de potencia (PwrSet) restringe una consigna de potencia (PwrSet) más cerca de la potencia real generada por el recurso basado en inversor, permitiendo, de este modo, que la primera función de estatismo de frecuencia (408) responda a las demandas de potencia de la red eléctrica.
- 50 12. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que generar la señal de referencia de frecuencia ( $\omega_{REF}$ ) comprende además:
- 55 filtrar, por medio de uno o más filtros del controlador (26, 120), la señal de retroalimentación de red de frecuencia ( $\omega_{gridFbk}$ ) de la red eléctrica.
13. Un sistema (200) para controlar un sistema de potencia de turbina eólica (100) que tiene un convertidor de potencia formador de red (120) conectado a una red eléctrica, comprendiendo el sistema de potencia de turbina eólica (100) un generador de inducción doblemente alimentado (102), DFIG, conectable a la red eléctrica, siendo el sistema de potencia de turbina eólica (100) parte de un parque eólico (50) que comprende un controlador a nivel de parque (56, 156), comprendiendo el sistema (200):
- 60 un controlador de turbina (26) que comprende al menos un procesador, el al menos un procesador configurado para realizar una pluralidad de operaciones, la pluralidad de operaciones se **caracteriza por** comprender:
- 65

- recibir (302) una primera señal de límite de potencia ( $Power\_Limit\_1$ ) para el sistema de potencia de turbina eólica (100) desde el controlador a nivel de parque (56, 156);
- 5 determinar, usando un módulo de restricción de potencia local (402) del controlador de turbina (26), una segunda señal de límite de potencia ( $Power\_Limit\_2$ ) para el sistema de potencia de turbina eólica;
- determinar (306) una señal de límite de potencia restringido (406) en base a las primera y segunda señales de límite de potencia ( $Power\_Limit\_1$ ,  $Power\_Limit\_2$ );
- 10 aplicar (308) una primera función de estatismo de frecuencia (408) a la señal de límite de potencia restringido (406);
- determinar (310), por medio de un algoritmo de seguimiento de potencia máxima del controlador de turbina (26), al menos una de una señal de referencia de potencia ( $Power\_ref$ ) y una referencia de *pitch* para el sistema de potencia de turbina eólica (100) como una función de una salida de la primera función de estatismo de frecuencia (408) y la señal de límite de potencia restringido (406);
- 15 ajustar (312) la señal de referencia de potencia ( $POWER\_Ref$ ) usando una segunda función de estatismo de frecuencia (416);
- 20 determinar (314) una o más instrucciones de control ( $PregACTUATOR$ ) para el sistema de potencia de turbina eólica (100) en base a la señal de referencia de potencia ajustada; y
- 25 controlar (316) el sistema de potencia de turbina eólica (100) en base a las una o más instrucciones de control ( $PregACTUATOR$ ) para soportar una frecuencia de red de la red eléctrica dentro de la potencia disponible en el sistema de potencia de turbina eólica (100).
14. Un sistema (200) de acuerdo con la reivindicación 13, en el que el controlador de turbina (26) comprende un módulo mínimo (404) configurado para determinar la señal de límite de potencia restringido (406), y/o en el que el al menos un procesador está configurado para realizar el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 3 a 4 y 6 a 12.
- 30



**FIG. 1**  
(TÉCNICA ANTERIOR)



**FIG. 2**  
(TÉCNICA ANTERIOR)

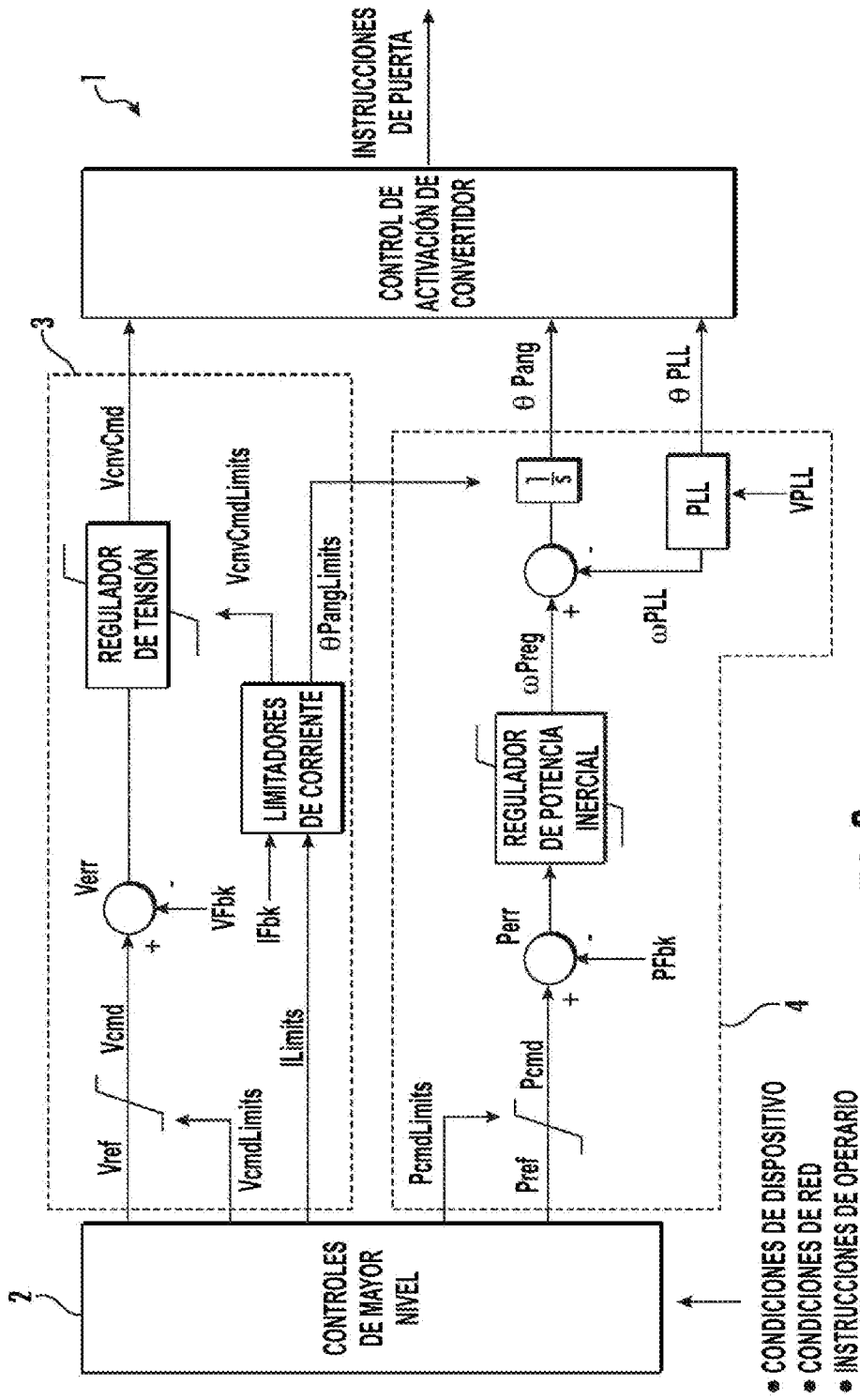
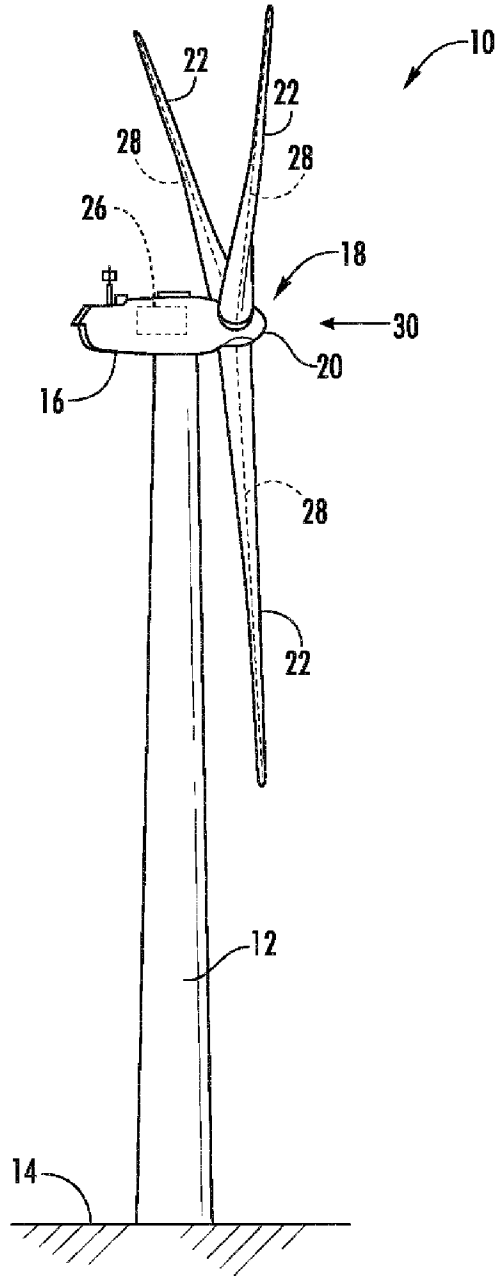


FIG. 3  
(TÉCNICA ANTERIOR)



**FIG. 4**

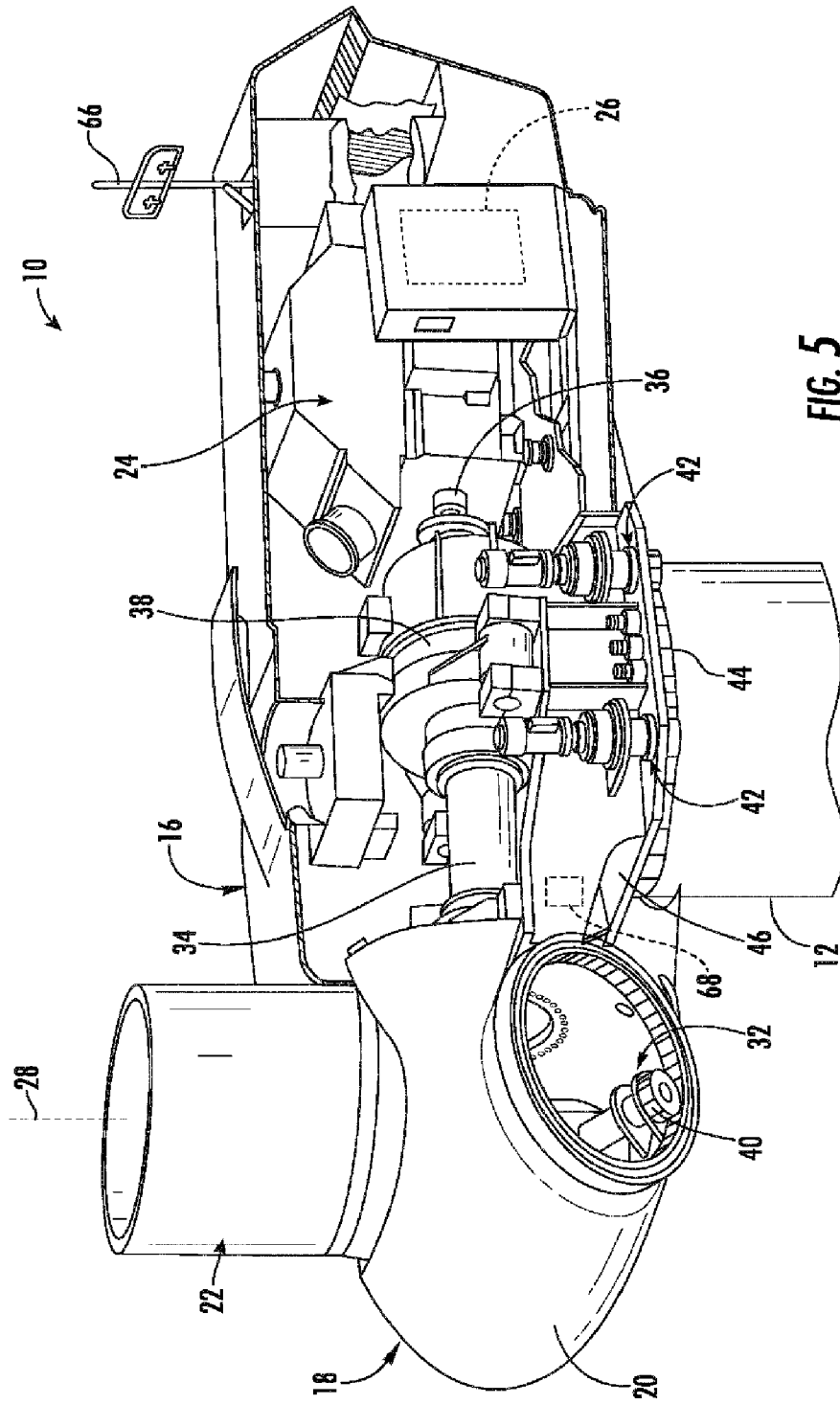


FIG. 5



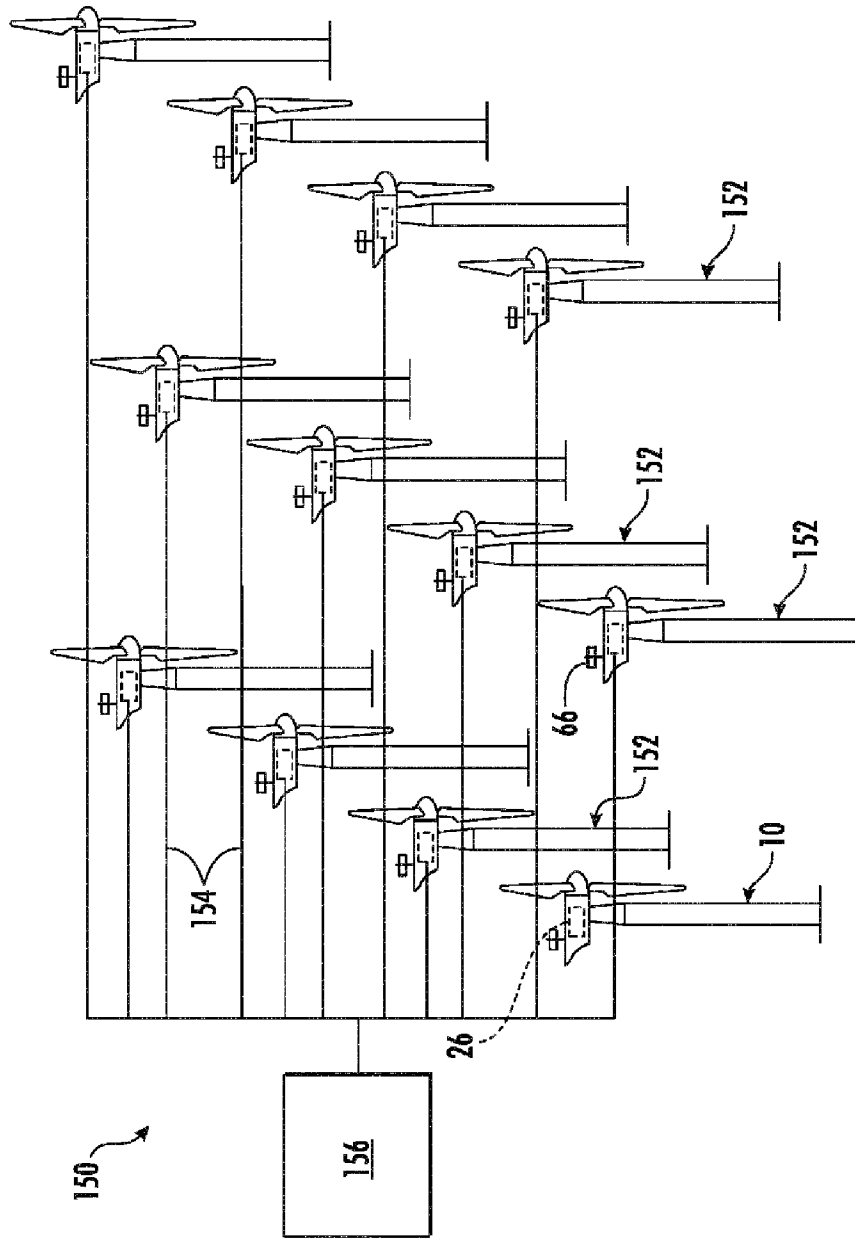
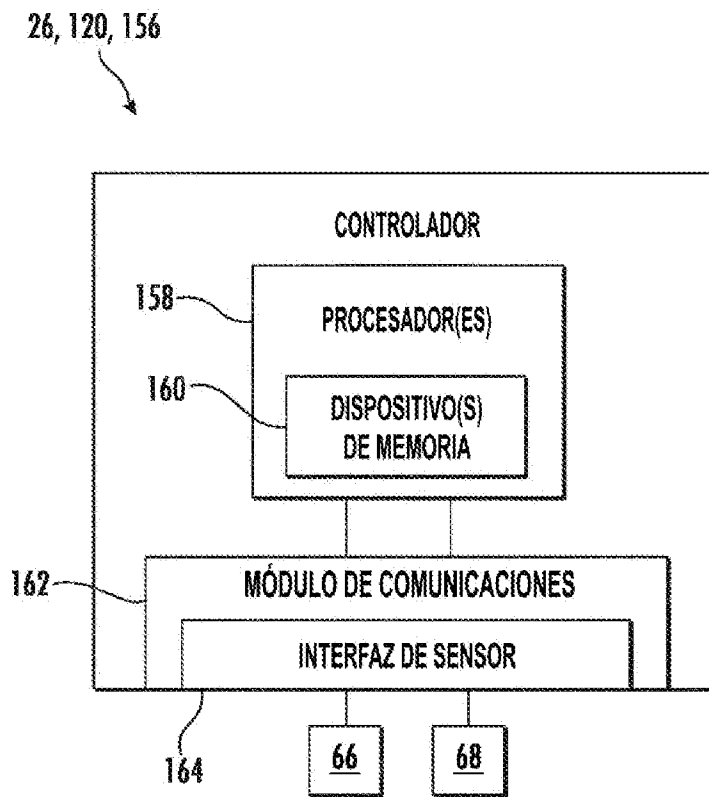


FIG. 7



**FIG. 8**

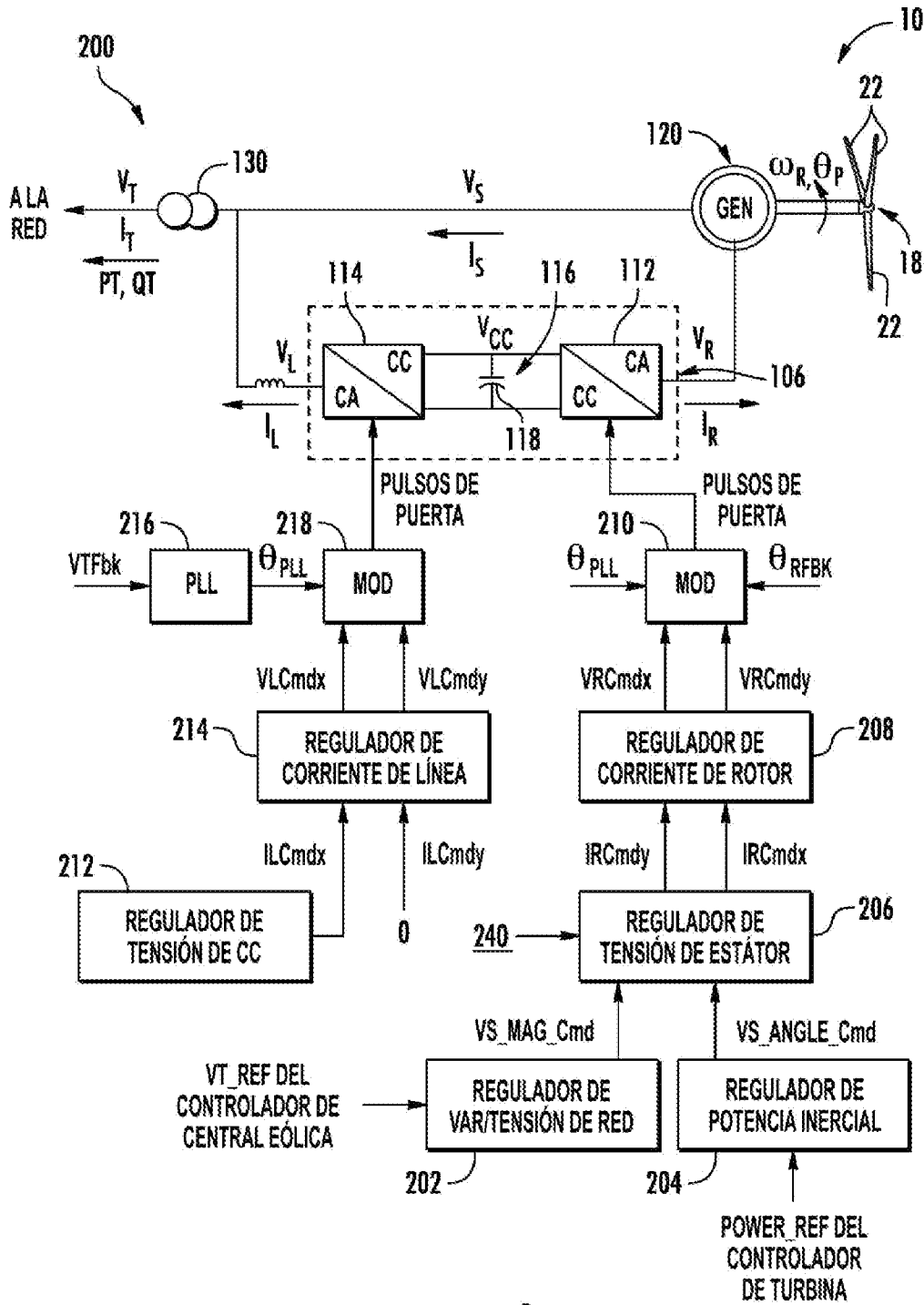


FIG. 9

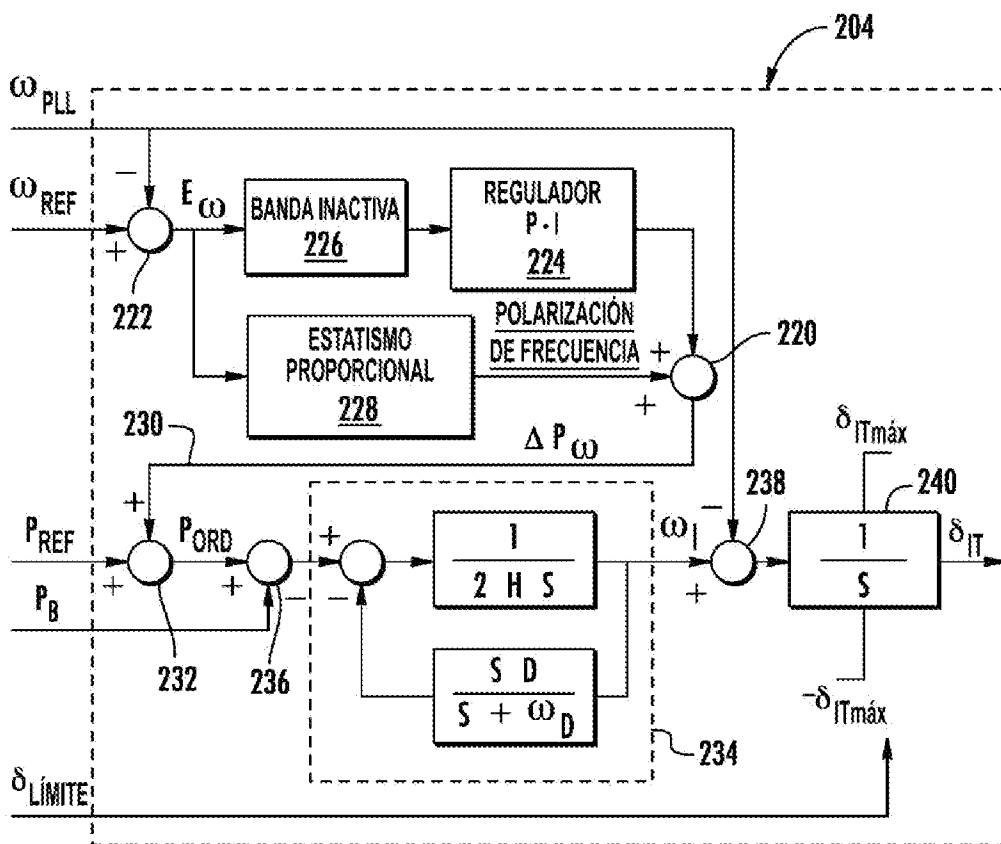
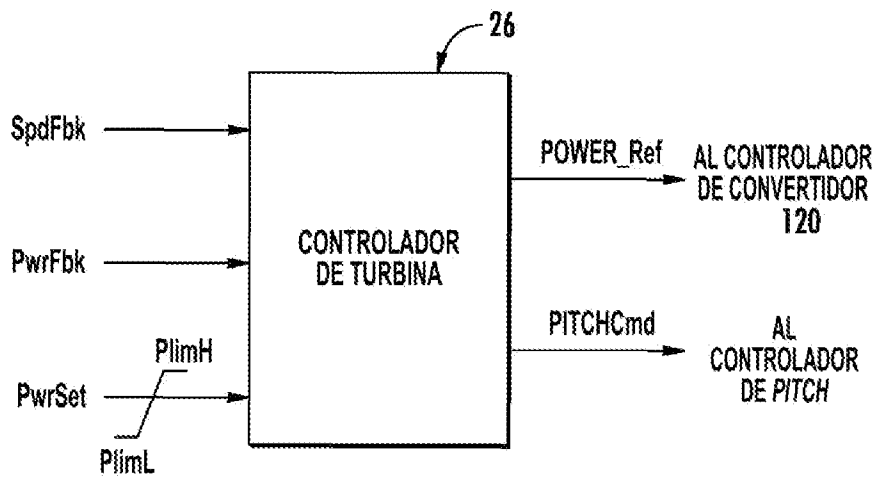


FIG. 10



**FIG. 11**

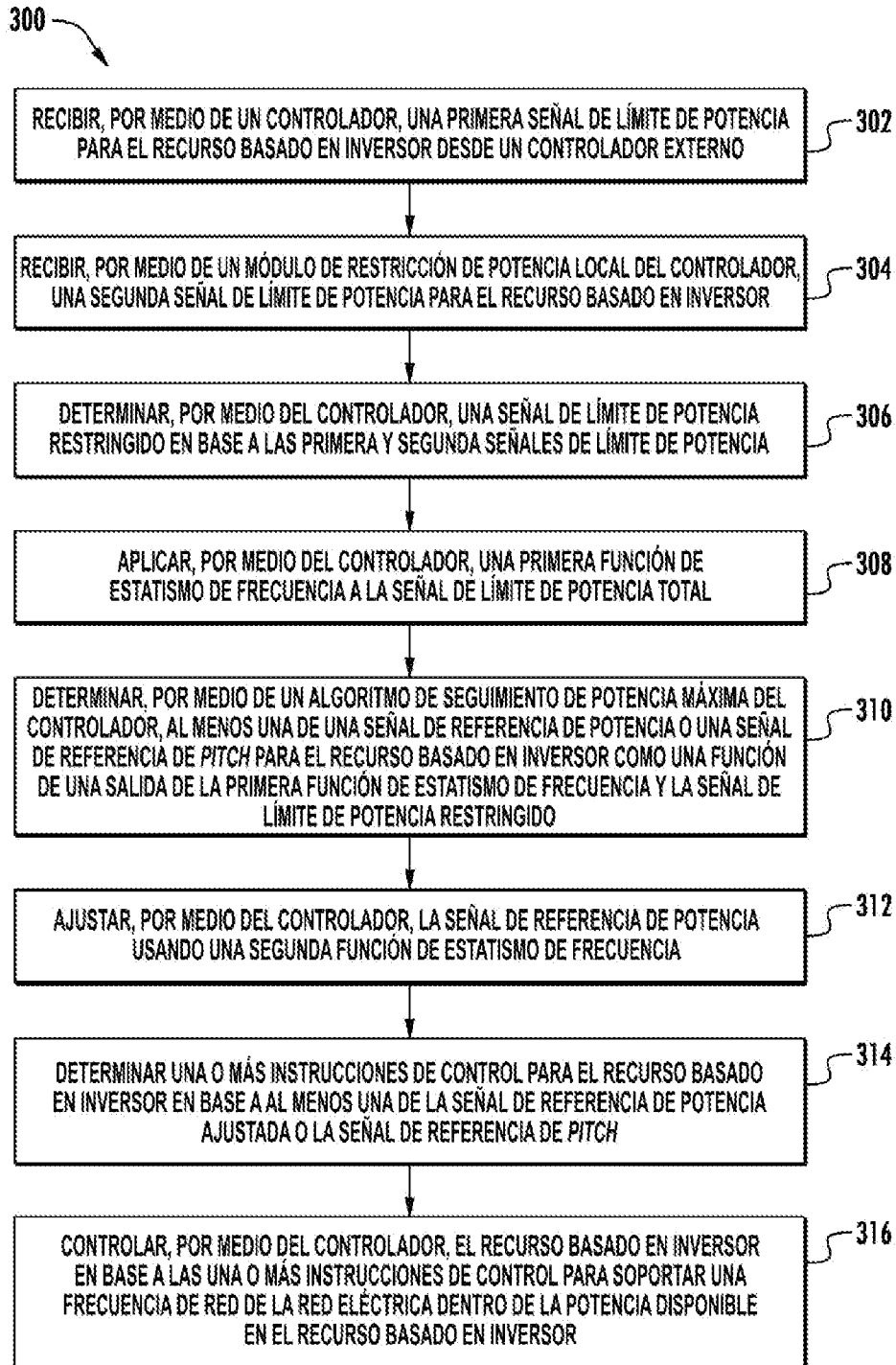


FIG. 12

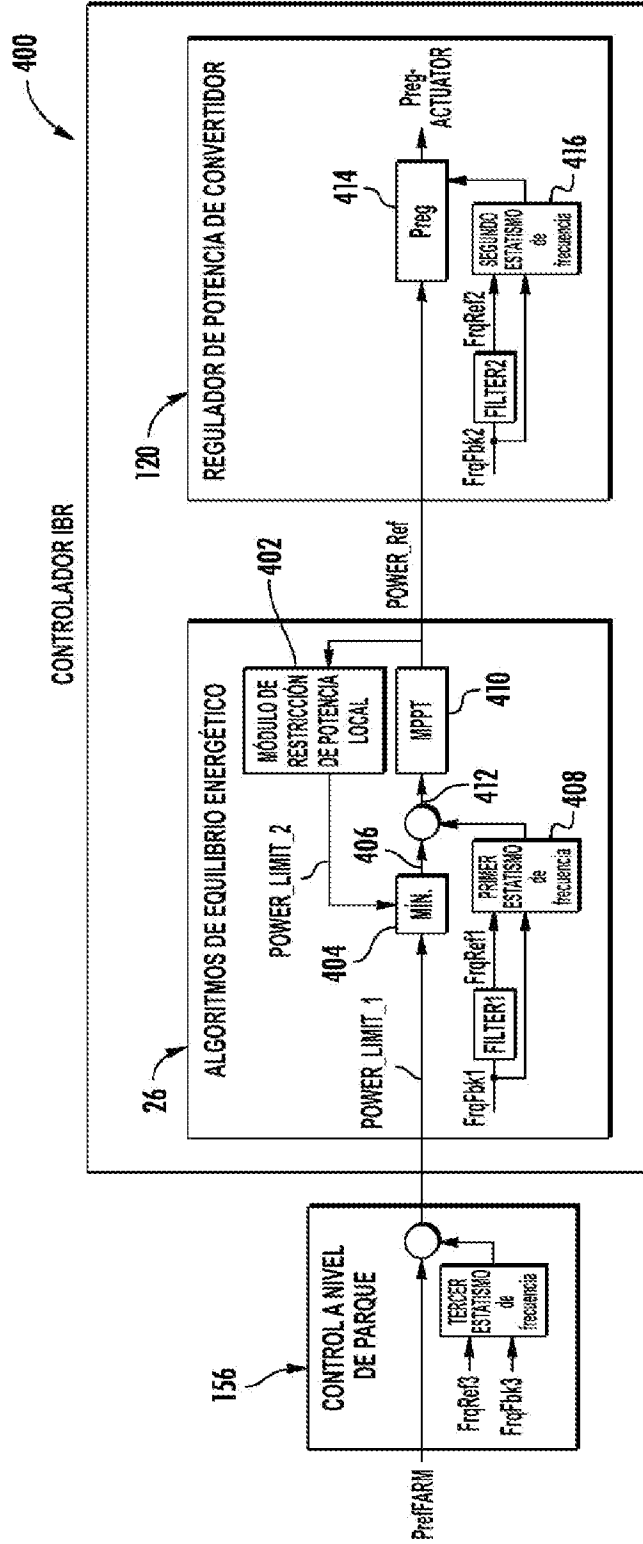


FIG. 13

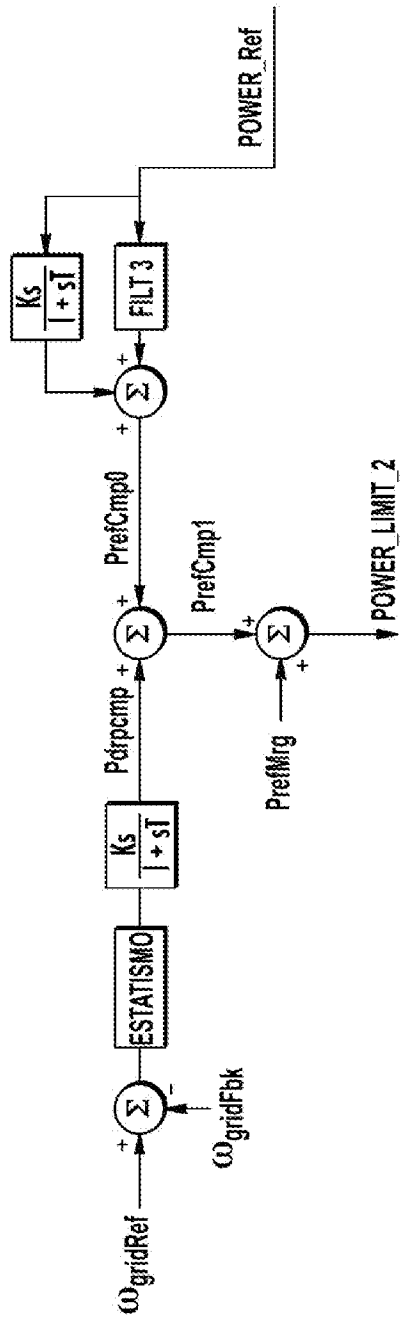


FIG. 14