

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 985 197**

51 Int. Cl.:

H02J 3/16 (2006.01)
H02J 3/24 (2006.01)
H02J 3/38 (2006.01)
H02J 3/46 (2006.01)
F03D 7/04 (2006.01)
F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2021** **E 21194029 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2024** **EP 3972070**

54 Título: **Sistema y método para proporcionar control de formación de red de un recurso basado en inversor**

30 Prioridad:

18.09.2020 US 202017024748

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.11.2024

73 Titular/es:

GE GRID SOLUTIONS LLC (100.0%)
4200 Wildwood Parkway
Atlanta, GA 30339-8402, US

72 Inventor/es:

LARSEN, EINAR VAUGHN y
HOWARD, DUSTIN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 985 197 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 método para proporcionar control de formación de red de un recurso basado en inversor

Campo

- 5 La presente descripción se refiere en general a recursos basados en inversor, tales como sistemas de potencia de turbinas eólicas y, más particularmente, a sistemas y métodos para proporcionar control de formación de red para recursos basados en inversor.

Antecedentes

- 10 La energía eólica se considera una de las fuentes de alimentación más limpias y respetuosas con el medio ambiente disponibles en la actualidad, y las turbinas eólicas han ganado cada vez más atención a este respecto. Una turbina eólica moderna suele incluir una torre, un generador, una caja de cambios, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas del rotor capturan la energía cinética del viento utilizando principios conocidos del perfil aerodinámico. Por ejemplo, las palas del rotor suelen tener el perfil de sección transversal de un perfil aerodinámico de tal manera que, durante el funcionamiento, el aire fluye sobre la pala produciendo una diferencia de presión entre los lados. Por consiguiente, sobre la pala actúa una fuerza de elevación, que se dirige desde un lado de presión hacia un lado de succión. La fuerza de elevación genera un par de torsión en el árbol del rotor principal, que normalmente está acoplado a un generador para producir electricidad.

- 15 Las turbinas eólicas se pueden distinguir en dos tipos: turbinas de velocidad fija y turbinas 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 bloqueo 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 la red son formas de onda de tensión fundamentales con frecuencia y magnitud fijas y que la penetración de la energía eólica en la red es lo suficientemente baja como para no causar perturbaciones en la magnitud y frecuencia de tensión de la red. Por lo tanto, las turbinas eólicas simplemente inyectan la corriente especificada en la red basándose en las formas de onda de tensión fundamentales. Sin embargo, con el rápido crecimiento de la energía eólica, la penetración de la energía eólica en algunas redes ha aumentado hasta el punto en que los generadores de turbinas eólicas tienen un impacto significativo en la tensión y la frecuencia de la red. Cuando las turbinas eólicas están ubicadas en una red débil, las fluctuaciones de potencia de las turbinas eólicas pueden provocar un aumento en la magnitud y las variaciones de frecuencia en la tensión de la red. Estas fluctuaciones pueden afectar negativamente el rendimiento y la estabilidad del PLL y al control de corriente de la turbina eólica.

- 20 Muchos convertidores de generación renovable existentes, tales como los generadores de turbinas eólicas de doble alimentación, funcionan en modo de "seguimiento de red". Los dispositivos de tipo seguimiento de red utilizan bucles rápidos de regulación de corriente para controlar la potencia activa y reactiva intercambiada con la red. Más específicamente, la fig. 1 ilustra los elementos básicos del circuito principal y la estructura de control del convertidor para un generador de turbina eólica de doble alimentación seguidor de red. Como se muestra, la referencia de potencia activa al convertidor la desarrolla el regulador de la fuente de alimentación, por ejemplo, la parte de control de la turbina de una turbina eólica. Esto se transmite como una referencia de par de torsión que representa la menor potencia máxima alcanzable de la fuente de alimentación en ese instante, o un comando de reducción de un controlador de red de nivel superior. A continuación, el control del convertidor determina una referencia de corriente para que el componente activo de la corriente alcance el par de torsión deseado. Por consiguiente, el generador de turbina eólica de doble alimentación incluye funciones que gestionan la tensión y la potencia reactiva de una manera que da como resultado un comando para el componente reactivo de la corriente. A continuación, los reguladores de corriente de ancho de banda amplio desarrollan comandos para que los convertidores apliquen la tensión al sistema, de tal manera que las corrientes reales sigan de cerca los comandos.

- 25 Alternativamente, los convertidores del tipo formador de red proporcionan una característica de fuente de tensión, donde el ángulo y la magnitud de la tensión se controlan para lograr las funciones de regulación que necesita la red. Con esta estructura, la corriente fluirá según las demandas de la red mientras el convertidor contribuye a establecer una tensión y una frecuencia para la red. Esta característica es comparable a la de los generadores convencionales basados en una turbina que acciona una máquina síncrona. Por lo tanto, una fuente de formación de red debe incluir las siguientes funciones básicas: (1) soportar la tensión y la frecuencia de la red para cualquier flujo de corriente dentro de la clasificación del equipo, tanto real como reactiva; (2) impedir el funcionamiento más allá de la tensión o la capacidad de corriente del equipo permitiendo que cambie la tensión o la frecuencia de la red en lugar de desconectar el equipo (la desconexión se permite sólo cuando la tensión o la frecuencia están fuera de los límites establecidos por la entidad de la red); (3) permanecer estable para cualquier configuración de red o característica de carga, incluyendo el servicio de una carga aislada o conectada con otras fuentes de formación de red, y el cambio entre dichas configuraciones; (4) compartir la carga total de la red entre otras fuentes de formación de red conectadas a la red; (5) atravesar perturbaciones de la red, tanto mayores como menores, y (6) cumplir con los requisitos (1)-(5) sin requerir una comunicación rápida con otros sistemas

de control existentes en la red, o señales lógicas creadas externamente relacionadas con cambios en la configuración de la red.

La estructura de control básica para lograr los objetivos de formación de red anteriores ha sido desarrollada y probada en el campo para sistemas de baterías a principios de la década de 1990 (véase, por ejemplo, la Patente de EE.UU. N°: 5,798,633 titulada "Battery Energy Storage Power Conditioning System" (sistema de acondicionamiento de potencia de almacenamiento de energía en una batería). Las aplicaciones a generadores eólicos y generadores solares de convertidor completo se dan a conocer en la patente de los EE.UU. N°: 7,804,184 titulada "System and Method for Control of a Grid Connected Power Generating System" (Sistema y método para el control de un sistema de generación de potencia conectado a la red), y la patente de los EE.UU. N°: 9,270,194 "Controller for controlling a power converter" (Controlador para el control de un convertidor de potencia). Las aplicaciones al control de formación de red para un generador de turbina eólica doblemente alimentado se dan a conocer en el documento PCT/US2020/013787 titulado "System and Method for Providing Grid-Forming Control for a Doubly-Fed Wind Turbine Generator" (sistema y método para la provisión de control de formación de red para un generador de turbina de doble alimentación).

Como ejemplo, la fig. 2 ilustra un diagrama esquemático de una realización de un circuito principal de un sistema de formación 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 comandos de activación de un controlador que crea un fasor de tensión de CA V_{cnv} en un ángulo de θ_{Vcnv} . El ángulo es con respecto a un fasor de referencia que tiene una frecuencia fija. El lado de CC se suministra con un dispositivo capaz de generar o absorber energía incluso por un período corto. Dichos dispositivos pueden incluir, por ejemplo, baterías, paneles solares, máquinas giratorias con 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 θ_{Vt} en la fig. 2. El sistema eléctrico detrás del punto de interconexión se muestra como un equivalente de Thevenin con impedancia Z_{th} y tensión V_{th} en el ángulo θ_{Vth} . Este equivalente se puede utilizar para representar cualquier circuito, incluyendo los circuitos conectados a la red y los aislados con cargas. En situaciones prácticas, la impedancia Z_{th} será principalmente inductiva.

Todavía con referencia a la fig. 2, la parte de bucle cerrado del control principal recibe señales de realimentación de la tensión y la corriente en el punto de interconexión. Se reciben entradas adicionales de controles de nivel superior (no mostrados). Mientras que 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 dados a conocer para lograr los mismos beneficios de rendimiento.

Con referencia ahora a la fig. 3, se ilustra un diagrama de control para proporcionar control de formación de red según la construcción convencional. Como se muestra, un controlador 1 de convertidor recibe referencias (por ejemplo, V_{ref} y P_{ref}) y límites (por ejemplo, $V_{cmdLimits}$ y $P_{cmdLimits}$) de controles 2 de nivel superior. Estos límites de nivel superior se refieren a cantidades físicas de tensión, corriente y potencia. Los reguladores principales incluyen un regulador 3 de tensión rápido y un regulador 4 de potencia lento. Estos reguladores 3, 4 tienen límites finales aplicados a los comandos de control del convertidor para la magnitud de la tensión (por ejemplo, V_{cnvCmd}) y el ángulo (por ejemplo, θ_{Pang} y θ_{PLL}) para implementar restricciones en los componentes reactivos y reales de la 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.

El documento WO 2019/164792 A1 describe un método para reducir un retraso entre un comando de potencia y la potencia real de un sistema de potencia que incluye la recepción, a través de un estimador de ángulo de potencia, de un comando de potencia del sistema de potencia. El método también incluye la recepción, a través del estimador de ángulo de potencia, una o más condiciones de red de la red eléctrica. Además, el método incluye la estimación, a través del estimador de ángulo de potencia, de una señal de ángulo de potencia a través del sistema de potencia basándose en el comando de potencia y una o más condiciones de la red. Además, el método incluye la recepción, a través de un bucle de bloqueo de fase (PLL), de la señal del ángulo de potencia estimado. Además, el método incluye la generación, a través del PLL, de una señal de ángulo de fase PLL basada, al menos en parte, en la señal de ángulo de potencia estimada. Por tanto, el método incluye además el control, a través de un controlador de convertidor, de un conjunto de conversión de potencia del sistema de potencia basándose en la señal del ángulo de fase PLL.

Además, la revista "Grid-Synchronization Stability of Converter-Based Resources-An Overview, IEEE Open Journal of Industry Applications, 1, 115-134. DOI: 10.1109/OJIA.2020.3020392 de Wang y col., presenta una descripción general de la estabilidad de sincronización de recursos basados en convertidores en una amplia gama de condiciones de red. Por ejemplo, se explica la regulación cruzada de amplitud de fase como esquemas de control de estabilización para la amortiguación de oscilaciones sincrónicas.

Para ser efectivos, los recursos de formación de red deben poder mantener un fasor de tensión interna que no se mueva rápidamente cuando hay cambios en las condiciones de la red, por ejemplo, adición/eliminación repentina de cargas, apertura o cierre de conexiones de red que provocan saltos de fase y/o cambios rápidos de frecuencia. En otras palabras, la energía del recurso de formación de red debe poder cambiar repentinamente para estabilizar la red, con un posterior restablecimiento lento de la energía comandada desde una función de control de nivel superior. Además, el recurso de formación de red debe ser capaz de hacer cumplir rápidamente los límites de potencia que existen debido a restricciones en las partes del dispositivo que maneja energía, por ejemplo, tensiones/corrientes de CC en una batería, un panel solar y/o un sistema de generación eólica. Esta respuesta es necesaria en caso de perturbaciones graves en la red, por ejemplo, fallos donde los límites de potencia se ajustarán dinámicamente para coordinarse con las condiciones de la red para una recuperación segura del fallo. Además, el recurso de formación de red debería poder seguir rápidamente los cambios en los comandos procedentes de controles de nivel superior, por ejemplo, para amortiguar vibraciones mecánicas en una turbina eólica. Sin embargo, estos requisitos pueden resultar difíciles de cumplir.

En vista de lo anterior, sería bienvenido en la técnica un sistema y método mejorados que aborde los problemas antes mencionados. Por consiguiente, la presente descripción está dirigida a un sistema y método para controlar un recurso basado en inversor que proporciona un control mejorado de formación de red en respuesta a cambios repentinos en la red, al mismo tiempo que es capaz de limitar rápidamente la potencia para permanecer dentro de las clasificaciones del equipo y para seguir rápidamente los comandos de los controles de nivel superior.

Breve descripción

Los aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden ser obvios a partir de la descripción, o pueden aprenderse mediante la práctica de la invención.

En un aspecto, la presente descripción está dirigida a un método para proporcionar control de formación de red de un recurso basado en inversor. El método incluye la recepción, a través de un controlador, de uno o más comandos de referencia desde un controlador externo. El método también incluye la determinación, a través del controlador, de uno o más comandos de control para el recurso basado en inversor basándose en uno o más comandos de referencia. Además, el método incluye la determinación, a través del controlador, de al menos una señal de prealimentación en función de uno o más comandos de control, una o más señales de control y una o más condiciones eléctricas estimadas del recurso basado en inversor. La determinación de al menos una señal directa incluye la determinación, a través del controlador, de un ángulo de potencia directa en función del uno o más comandos de control, la una o más señales de control y la una o más primeras condiciones eléctricas del recurso basado en inversor y la determinación, a través del controlador, de un ángulo de bucle de bloqueo de fase de alimentación directa para un bucle de bloqueo de fase del controlador en función del uno o más comandos de control, la una o más señales de control y la una o más segundas condiciones eléctricas del recurso basado en inversor. El método también incluye el uso de al menos una señal de prealimentación para posicionar al menos un ángulo de control del recurso basado en inversor en un valor anticipado necesario para lograr uno o más comandos de referencia, posibilitando así una respuesta rápida al uno o más comandos de referencia recibidos desde el controlador externo.

En una realización, la señal de prealimentación puede incluir un ángulo o una tasa de cambio de ángulo.

Las primeras condiciones eléctricas del recurso basado en inversor pueden incluir una impedancia del convertidor o una tensión terminal. Además, en ciertas realizaciones, la segunda condición o condiciones eléctricas del recurso basado en inversor puede incluir al menos uno de una tensión terminal, una impedancia de prealimentación o una tensión de prealimentación.

En realizaciones adicionales, el uso de la señal o señales de prealimentación para posicionar el ángulo o ángulos de control del recurso basado en inversor al valor anticipado necesario para lograr el uno o más comandos de referencia puede incluir la determinación, a través del controlador, de una tasa de ángulo de potencia de cambio y una tasa de cambio del ángulo del bucle de bloqueo de fase en función del ángulo de potencia de prealimentación y el ángulo del bucle de bloqueo de fase de prealimentación, respectivamente. En tales realizaciones, la determinación de la tasa de cambio del ángulo de potencia y la tasa de cambio del ángulo del bucle de bloqueo de fase en función del ángulo de potencia de prealimentación y el ángulo del bucle de bloqueo de fase de prealimentación, respectivamente, puede incluir añadir una tasa de cambio del ángulo de potencia de prealimentación y una tasa de cambio de ángulo de bloqueo de fase de prealimentación a una frecuencia del regulador de potencia y una frecuencia de bucle de bloqueo de fase, respectivamente.

En realizaciones adicionales, la determinación del ángulo de potencia y el ángulo del bucle de bloqueo de fase en función del ángulo de potencia de prealimentación y el ángulo del bucle de bloqueo de fase de prealimentación, respectivamente, puede incluir, por ejemplo, la diferenciación del ángulo de potencia de prealimentación y los ángulos de bucle de bloqueo de fase de prealimentación, respectivamente, y añadiendo el ángulo de potencia de prealimentación diferenciado y el ángulo de bloqueo de fase de prealimentación diferenciado al ángulo de potencia y al ángulo de bucle de bloqueo de fase, respectivamente.

En ciertas realizaciones, el comando o comandos de referencia pueden incluir una referencia de potencia o uno o más límites de comando de potencia desde el controlador externo. Además, en una realización, el comando o comandos de control pueden incluir un comando de potencia.

5 En otra realización, la determinación del ángulo de potencia de prealimentación en función del uno o más comandos de control, la una o más señales de control y la una o más primeras condiciones eléctricas del recurso basado en inversor pueden incluir la multiplicación del comando de potencia por la impedancia del convertidor para obtener un primer producto, multiplicando un comando de tensión del convertidor por la tensión terminal para obtener un segundo producto, dividiendo el primer producto por el segundo producto para obtener un cociente y determinar el arcoseno del cociente.

10 En realizaciones adicionales, la determinación del ángulo del bucle de bloqueo de fase de prealimentación para el bucle de bloqueo de fase del controlador en función de uno o más comandos de control, la una o más señales de control y la una o más segundas condiciones eléctricas del recurso basado en inversor pueden incluir la multiplicación del comando de potencia por la impedancia de prealimentación para obtener un primer producto, multiplicando la tensión de prealimentación por la tensión terminal para obtener un segundo producto, dividiendo el primer producto por el segundo producto para obtener un cociente y determinar el arcoseno del cociente.

En realizaciones particulares, el método puede incluir la estimación de la impedancia de prealimentación como un valor de impedancia central entre un sistema más fuerte y un sistema débil.

20 En otra realización más, el método puede incluir la estimación de manera dinámica de la tensión de prealimentación en función de al menos uno de potencia real, potencia reactiva, tensión o impedancia de prealimentación. En ciertas realizaciones, el método puede incluir el establecimiento de la tensión de prealimentación como un valor fijo.

25 En varias realizaciones, el uso de la señal o señales de prealimentación para posicionar el ángulo o ángulos de control del recurso basado en inversor al valor anticipado necesario para lograr uno o más comandos de referencia puede incluir la determinación de los límites de ángulo de potencia superior e inferior para el al menos un ángulo de control y la aplicación de los límites del ángulo de potencia superior e inferior al ángulo de potencia para proporcionar una restricción en la potencia mientras uno o más reguladores del recurso basado en inversor actúan para establecerse después de un evento transitorio.

30 En ciertas realizaciones, la determinación de los límites del ángulo de potencia superior e inferior para el ángulo o ángulos de control puede incluir la multiplicación de cada uno de un comando de potencia máxima y un comando de potencia mínima por la impedancia del convertidor para obtener un producto máximo y un producto mínimo, respectivamente, multiplicando un comando de tensión del convertidor por la tensión terminal para obtener un segundo producto, dividiendo cada uno del producto máximo y del producto mínimo por el segundo producto, respectivamente, para obtener un cociente máximo y un cociente mínimo, determinando el arcoseno de cada uno del cociente máximo y del cociente mínimo, y añadiendo un error de bucle de bloqueo de fase al arcoseno del cociente máximo y al arcoseno del cociente mínimo.

35 En otro aspecto, la presente descripción está dirigida a un controlador de convertidor para proporcionar control de formación de red de un recurso basado en inversor. El controlador de convertidor incluye al menos un controlador que tiene al menos un procesador. El procesador está configurado para realizar una pluralidad de operaciones, que incluyen, entre otras, recibir uno o más comandos de control, determinar al menos una señal de prealimentación en función de uno o más comandos de control, una o más señales de control y una o más condiciones eléctricas estimadas del recurso basado en inversor, y utilizar la al menos una señal de prealimentación para posicionar al menos un ángulo de control del recurso basado en inversor en un valor anticipado necesario para lograr el uno o más comandos de referencia, posibilitando así una respuesta rápida al uno o más comandos de referencia recibidos desde el controlador externo. La determinación de la al menos una
40 señal de prealimentación incluye la determinación, a través del controlador, de un ángulo de potencia de prealimentación en función del uno o más comandos de control, la una o más señales de control y la una o más primeras condiciones eléctricas del recurso basado en inversor, y la determinación, a través del controlador, de un ángulo de bucle de bloqueo de fase anticipado para un bucle de bloqueo de fase del controlador en función del uno o más comandos de control, la una o más señales de control y la una o más segundas condiciones eléctricas del recurso basado en inversor. Debería comprenderse que el controlador de convertidor puede incluir además cualquiera de las características y/o etapas adicionales descritas en la presente memoria.

45 Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente invención se comprenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan y constituyen parte de esta especificación, ilustran realizaciones de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.
50
55

Breve descripción de los dibujos

En la memoria descriptiva, se expone una descripción completa y propicia de la presente invención, que incluye la mejor forma de la misma, dirigida a un experto en la técnica, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

- 5 La fig. 1 ilustra un diagrama unifilar de un generador de turbina eólica de doble alimentación con estructura de controles de convertidor para aplicación de seguimiento de red según la construcción convencional;
- La fig. 2 ilustra un diagrama esquemático de una realización de un circuito principal de un sistema de formación de red según la construcción convencional;
- 10 La fig. 3 ilustra un diagrama de control para proporcionar control de formación de red según la construcción convencional;
- La fig. 4 ilustra una vista en perspectiva de una realización de una turbina eólica según la presente descripción;
- La fig. 5 ilustra una vista interna simplificada de una realización de una góndola según la presente descripción;
- La fig. 6 ilustra una vista esquemática de una realización de un sistema de energía eléctrica de turbina eólica adecuado para su uso con la turbina eólica mostrada en la fig. 1;
- 15 La fig. 7 ilustra una vista esquemática de una realización de un parque eólico que tiene una pluralidad de turbinas eólicas según la presente descripción;
- La fig. 8 ilustra un diagrama de bloques de una realización de un controlador según la presente descripción;
- La fig. 9 ilustra un diagrama de flujo de una realización de un método para proporcionar control de formación de red de un recurso basado en inversor según la presente descripción;
- 20 La fig. 10 ilustra un diagrama de control de una realización de un sistema para proporcionar control de formación de red de un recurso basado en inversor según la presente descripción;
- La fig. 11 ilustra una vista esquemática de una realización de un diagrama fasorial que representa relaciones fasoriales entre tensiones del sistema, un bucle de bloqueo de fase y una referencia de frecuencia fija según la presente descripción.

25 Descripción detallada

En general, la presente descripción está dirigida a sistemas y métodos para proporcionar control de formación de red a través de un recurso basado en inversor en respuesta a cambios repentinos en la red, al mismo tiempo que es capaz de limitar rápidamente la potencia para permanecer dentro de las clasificaciones del equipo y seguir rápidamente comandos de controles de nivel superior. Por lo tanto, en ciertas realizaciones, la respuesta rápida a los comandos de control se logra con una ruta de prealimentación, así como una función de límite de potencia mejorada. Aunque los sistemas y métodos de la presente descripción se describen en general en la presente memoria con respecto a un sistema de potencia de turbina eólica, debería comprenderse que los sistemas y métodos se pueden aplicar a cualquier otro recurso basado en inversor.

35 Con referencia ahora a los dibujos, la fig. 4 ilustra una vista en perspectiva de una realización de una turbina 10 eólica según la presente descripción. Como se muestra, la turbina 10 eólica incluye generalmente una torre 12 que se extiende desde una superficie 14 de soporte, una góndola 16 montada en la torre 12 y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un concentrador 20 giratorio y al menos una pala 22 de rotor acoplada al concentrador 20 y que se extiende hacia afuera desde él. Por ejemplo, en la realización ilustrada, el rotor 18 incluye tres palas 22 de rotor. Sin embargo, en una realización alternativa, el rotor 18 puede incluir más o menos de tres palas 22 de rotor. Cada pala 22 de rotor puede estar espaciada alrededor del concentrador 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para posibilitar que la energía cinética se transfiera del viento a energía mecánica utilizable y, posteriormente, a energía eléctrica. Por ejemplo, el concentrador 20 puede estar acoplado de manera giratoria a un generador 24 eléctrico (fig. 5) colocado dentro de la góndola 16 para permitir que se produzca energía eléctrica.

45 La turbina 10 eólica también puede incluir un controlador 26 de turbina eólica centralizado dentro de la góndola 16. Sin embargo, en otras realizaciones, el controlador 26 puede estar ubicado dentro de cualquier otro componente de la turbina 10 eólica o en una ubicación fuera de la turbina 10 eólica. Además, el controlador 26 puede estar acoplado comunicativamente a cualquier número de componentes de la turbina 10 eólica con el fin de controlar el funcionamiento de dichos componentes e/o implementar una acción correctiva o de control. Como tal, el controlador 26 puede incluir un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por lo tanto, en varias realizaciones, el controlador 26 puede incluir instrucciones adecuadas legibles por ordenador 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. Por consiguiente, el controlador 26 puede configurarse generalmente para controlar los diversos modos de funcionamiento (por ejemplo, secuencias de arranque o parada), reducción o aumento de la potencia de la turbina eólica y/o componentes individuales de la turbina 10 eólica.

5 Con referencia ahora a la fig. 5, se ilustra una vista interna simplificada de una realización de la góndola 16 de la turbina 10 eólica mostrada en la fig. 4. Como se muestra, un generador 24 puede estar dispuesto dentro de la góndola 16 y soportarlo encima de una bancada 46. En general, el generador 24 se puede acoplar al rotor 18 para producir energía eléctrica a partir de la energía giratoria generada por el rotor 18. Por ejemplo, Como se muestra en la realización ilustrada, el rotor 18 puede incluir un árbol 34 de rotor acoplado al concentrador 20 para
10 girar con el mismo. El árbol 34 de rotor puede, a su vez, estar acoplado de forma giratoria a un árbol 36 de generador del generador 24 a través de una caja 38 de cambios. Como se comprende generalmente, el árbol 34 de rotor puede proporcionar una entrada de par de torsión alto y baja velocidad a la caja 38 de cambios en respuesta a la rotación de las palas 22 del rotor y del concentrador 20. A continuación, la caja 38 de cambios puede configurarse para convertir la entrada de par de torsión alto y baja velocidad en una salida de par de
15 torsión bajo y alta velocidad para impulsar el árbol 36 de generador y, por tanto, el generador 24.

La turbina 10 eólica también puede tener uno o más mecanismos 32 de accionamiento de paso acoplados comunicativamente al controlador 26 de turbina eólica, estando cada mecanismo o mecanismos 32 de ajuste de paso configurado para girar un cojinete 40 de paso y, por tanto, la pala o palas 22 de rotor individuales alrededor de su respectivo eje 28 de paso. Además, como se muestra, la turbina 10 eólica puede incluir uno o más
20 mecanismos 42 de accionamiento de guiñada configurados para cambiar el ángulo de la góndola 16 con respecto al viento (por ejemplo, acoplando un cojinete 44 de guiñada de la turbina 10 eólica que está dispuesta entre la góndola 16 y la torre 12 de la turbina 10 eólica).

Además, la turbina 10 eólica también puede incluir uno o más sensores 66, 68 para monitorizar diversas condiciones del viento de la turbina 10 eólica. Por ejemplo, la dirección 52 del viento entrante, la velocidad del viento o cualquier otra condición del viento adecuada cerca de la turbina 10 eólica puede medirse, tal como a
25 través del uso de un sensor 66 meteorológico adecuado. Los sensores meteorológicos adecuados pueden incluir, por ejemplo, dispositivos de detección y medición de luz ("LIDAR"), dispositivos de detección y medición de sonido ("SODAR"), anemómetros, veletas, barómetros, dispositivos de radar (tales como dispositivos de radar Doppler) o cualquier otro dispositivo de detección que pueda proporcionar información direccional del viento ahora conocida o desarrollada posteriormente en la técnica. Se pueden utilizar aún más sensores 68 para medir
30 parámetros operativos adicionales de la turbina 10 eólica, tales como tensión, corriente, vibración, etc., como se describe en la presente memoria.

Con referencia ahora a la fig. 6, se ilustra un diagrama esquemático de una realización de un sistema 100 de potencia de turbina eólica según aspectos de la presente descripción. Aunque la presente descripción se describirá en general en la presente memoria con referencia a la turbina 10 eólica mostrada en la fig. 4, los
35 expertos en la técnica, que utilizan las descripciones proporcionadas en la presente memoria, deberían comprender que aspectos de la presente descripción también pueden ser aplicables en otros sistemas de generación de potencia y, como se ha mencionado anteriormente, que la invención no se limita a sistemas de turbinas eólicas.

En la realización de la fig. 6 y como se ha mencionado, el rotor 18 de la turbina 10 eólica (fig. 4) puede, opcionalmente, estar acoplado a la caja 38 de cambios, que a su vez está acoplada 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 104 de estator. Además, como se muestra, se puede conectar un convertidor 106 de potencia al DFIG 102 a través de un bus 108 de rotor, y al bus 104 de estator a través de un bus 110 del lado de línea.
40 Como tal, el bus 104 de estator puede proporcionar una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) desde un estator del DFIG 102, y el bus 108 de rotor puede proporcionar una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) desde un rotor del DFIG 102. El convertidor 106 de potencia también puede incluir un convertidor 112 del lado del rotor (RSC) y un convertidor 114 del lado de línea (LSC). El DFIG 102 está acoplado a través del bus 108 de rotor al convertidor 112 del lado del rotor. Además, el RSC 112 está
50 acoplado al LSC 114 a través de un enlace 116 de CC a través del cual se encuentra un condensador 118 de enlace de CC. El LSC 114 está, a su vez, acoplado al bus 110 del lado de línea.

El RSC 112 y el LSC 114 pueden configurarse para el modo de funcionamiento normal en una disposición trifásica de modulación de ancho de pulso (PWM) utilizando uno o más dispositivos de conmutación, tales como
55 elementos de conmutación de transistor bipolar de puerta aislada (IGBT). Además, el convertidor 106 de potencia puede estar acoplado a un controlador 120 de convertidor con el fin de controlar el funcionamiento del convertidor 112 del lado del rotor y/o del convertidor 114 del lado de la línea como se describe en la presente memoria. Debería observarse que el controlador 120 del convertidor puede configurarse como una interfaz entre el convertidor 106 de potencia y el controlador 26 de turbina y puede incluir cualquier número de dispositivos de control.

En configuraciones típicas, también se pueden incluir varios interruptores de línea y disyuntores que incluyen, por ejemplo, un disyuntor 122 de red puede incluirse para aislar los diversos componentes según sea necesario para el funcionamiento normal del DFIG 102 durante la conexión a y desconexión de una carga, tal como la red 124 eléctrica. Por ejemplo, un disyuntor 126 del sistema puede acoplar un bus 128 del sistema a un transformador 130, que puede estar acoplado a la red 124 eléctrica a través del disyuntor 122 de red. En realizaciones alternativas, los fusibles pueden reemplazar parte o la totalidad de los disyuntores.

En funcionamiento, la potencia de corriente alterna generada en el DFIG 102 al girar el rotor 18 se proporciona a la red 124 eléctrica a través de rutas duales definidas por el bus 104 de estator y el bus 108 de rotor. En el lado 108 del bus de rotor, se proporciona potencia de corriente alterna (CA) multifásica sinusoidal (por ejemplo, trifásica) al convertidor 106 de potencia. El convertidor 112 de potencia del lado del rotor convierte la potencia de CA proporcionada desde el bus 108 de rotor en potencia de corriente continua (CC) y proporciona la potencia de CC al enlace 116 de CC. Como se comprende generalmente, los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) utilizados en los circuitos puente del convertidor 112 de potencia del lado del rotor pueden modularse para convertir la potencia de CA proporcionada desde el bus 108 del rotor en potencia de CC adecuada para el enlace 116 de CC.

Además, el convertidor 114 del lado de línea convierte la potencia de CC en el enlace 116 de CC en potencia de salida de CA adecuada para la red 124 eléctrica. En particular, los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) utilizados en circuitos puente del convertidor 114 de potencia del lado de línea pueden ser modulados para convertir la potencia de CC en el enlace 116 de CC en potencia de CA en el bus 110 del lado de línea. La potencia de CA del convertidor 106 de potencia se puede combinar con la potencia del estator del DFIG 102 para proporcionar potencia multifásica (por ejemplo, potencia trifásica) que tiene una frecuencia mantenida sustancialmente a la frecuencia de la red 124 eléctrica (por ejemplo, 50 Hz o 60 Hz).

Además, se pueden incluir varios disyuntores e interruptores, tales como el disyuntor 122 de red, el disyuntor 126 del sistema, el interruptor 132 de sincronización de estator, el disyuntor 134 del convertidor y el contactor 136 de línea en el sistema 100 de potencia de la turbina eólica para conectar o desconectar los buses correspondientes, por ejemplo, cuando el flujo de corriente es excesivo y puede dañar componentes del sistema 100 de potencia de la turbina eólica o por otras consideraciones operativas. También se pueden incluir componentes de protección adicionales en el sistema 100 de potencia de turbina eólica.

Además, el convertidor 106 de potencia puede recibir señales de control desde, por ejemplo, el sistema 176 de control local a través del controlador 120 del convertidor. Las señales de control pueden basarse, entre otras cosas, en estados detectados o características operativas del sistema 100 de potencia de turbina eólica. Normalmente, las señales de control proporcionan el control del funcionamiento del convertidor 106 de potencia. Por ejemplo, se puede utilizar realimentación en forma de una velocidad detectada del DFIG 102 para controlar la conversión de la potencia de salida del bus 108 de rotor para mantener un suministro de potencia multifásica (por ejemplo, trifásica) adecuado y equilibrado. El controlador o controladores 120, 26 también pueden utilizar otra realimentación de otros sensores para controlar el convertidor 106 de potencia, incluyendo, por ejemplo, tensiones del bus del estator y del rotor y realimentación de corriente. Utilizando las diversas formas de información de realimentación, se pueden generar señales de control de conmutación (por ejemplo, comandos de temporización de puerta para IGBT), señales de control de sincronización de estator y señales de disyuntor.

El convertidor 106 de potencia también compensa o ajusta la frecuencia de la potencia trifásica del rotor para cambios, por ejemplo, en la velocidad del viento en el concentrador 20 y las palas 22 del rotor. Por lo tanto, las frecuencias mecánicas y eléctricas del rotor se desacoplan y la adaptación de frecuencia eléctrica del estator y del rotor se facilita sustancialmente de forma independiente de la velocidad mecánica del rotor.

En algunos estados, las características bidireccionales del convertidor 106 de potencia, y específicamente, las características bidireccionales del LSC 114 y del RSC 112, facilitan la realimentación de al menos parte de la energía eléctrica generada al rotor del generador. Más específicamente, la energía eléctrica puede transmitirse desde el bus 104 de estator al bus 110 del lado de línea y posteriormente a través del contactor 136 de línea y al convertidor 106 de potencia, 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 116 de CC. El condensador 118 facilita la mitigación de las variaciones de amplitud de tensión del enlace de CC al facilitar la mitigación de una ondulación de CC asociada a veces con la rectificación de CA trifásica.

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

Con referencia ahora a la fig. 7, el sistema 100 de alimentación de turbina eólica descrito en la presente memoria puede ser parte de un parque 50 eólico. Como se muestra, el parque 50 eólico puede incluir una pluralidad de turbinas 52 eólicas, incluyendo la turbina 10 eólica descrita anteriormente, y un controlador 56 general a nivel de

parque. Por ejemplo, como se muestra en la realización ilustrada, el parque 50 eólico incluye doce turbinas eólicas, incluyendo la turbina 10 eólica. Sin embargo, en otras realizaciones, el parque 50 eólico puede incluir cualquier otro número de turbinas eólicas, tal como menos de doce turbinas eólicas o más de doce turbinas eólicas. En una realización, los controladores de turbina de la pluralidad de turbinas 52 eólicas están acoplados comunicativamente al controlador 56 a nivel de parque, por ejemplo a través de una conexión por cable, tal como conectando el controlador 26 de turbina a través de enlaces 54 comunicativos adecuados (por ejemplo, un cable adecuado). Alternativamente, los controladores de turbina se pueden acoplar comunicativamente al controlador 56 a nivel de parque a través de una conexión inalámbrica, tal como utilizando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado, conocido en la técnica. En realizaciones adicionales, el controlador 56 a nivel de parque está configurado para enviar y recibir señales de control hacia y desde las diversas turbinas 52 eólicas, tal como por ejemplo, distribuyendo solicitudes de potencia real y/o reactiva a través de las turbinas 52 eólicas del parque 50 eólico.

Con referencia ahora a la fig. 8, se ilustra un diagrama de bloques de una realización de componentes adecuados que pueden incluirse dentro del controlador (tal como cualquiera del controlador 120 del convertidor, el controlador 26 de turbina y/o el controlador 56 a nivel de parque descritos en la presente memoria) según aspectos de la presente descripción ejemplares. Como se muestra, el controlador puede incluir uno o más procesadores 58, un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada y un dispositivo o dispositivos 60 de memoria asociados que pueden incluir instrucciones adecuadas legibles por ordenador 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 métodos, etapas, cálculos y similares dados a conocer en la presente memoria).

Tal como se utiliza en la presente memoria, el término "procesador" se refiere no sólo a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como que están incluidos en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de aplicación y otros circuitos programables. Además, el dispositivo o dispositivos 60 de memoria generalmente pueden incluir un elemento o elementos de memoria que incluyen, entre otros, 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, un disco compacto de memoria de sólo lectura (CD-ROM), un disco magneto-óptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados.

Dicho dispositivo o dispositivos 60 de memoria generalmente pueden configurarse para almacenar instrucciones adecuadas legibles por ordenador que, cuando se implementan mediante el procesador o procesadores 58, configuran el controlador para realizar diversas funciones como se describe en la presente memoria. Además, el controlador también puede incluir una interfaz 62 de comunicaciones para facilitar las comunicaciones entre el controlador y los diversos componentes de la turbina 10 eólica. 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 64 de sensor (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 puedan ser comprendidas y procesadas por el procesador o procesadores 58.

Con referencia ahora a la fig. 9, se proporciona un diagrama de flujo de una realización de un método 200 para proporcionar control de formación de red de un recurso basado en inversor. En general, el método 200 se describe en la presente memoria con referencia al sistema 100 de alimentación de turbina eólica de las figs. 4-8. Sin embargo, se debería apreciar que el método 200 dado a conocer puede implementarse con cualquier otro sistema de generación de potencia adecuado que tenga otras configuraciones adecuadas. Además, aunque la fig. 9 representa las etapas realizadas en un orden particular con fines de ilustración y descripción, los métodos dados a conocer en la presente memoria no se limitan a ningún orden o disposición particular. Un experto en la técnica, que utilice las descripciones proporcionadas en la presente memoria, apreciará que diversas etapas de los métodos dados a conocer en la presente memoria se pueden omitir, reorganizar, combinar y/o adaptar de diversas maneras sin desviarse del alcance de la presente descripción.

Como se muestra en (202), el método 200 incluye la recepción, a través de un controlador, de uno o más comandos de referencia desde un controlador externo. Como se muestra en (204), el método 200 incluye la determinación, a través del controlador, de uno o más comandos de control para el recurso basado en inversor basándose en uno o más comandos de referencia. Por ejemplo, en una realización, el comando o comandos de referencia pueden incluir una referencia de potencia desde un controlador externo. Por consiguiente, el comando o comandos de control pueden incluir un comando de potencia.

Como se muestra en (206), el método 200 incluye la determinación, a través del controlador, de al menos una señal de prealimentación en función de uno o más comandos de control, una o más señales de control y una o más condiciones eléctricas estimadas del recurso basado en inversor. En tales realizaciones, la señal o señales de prealimentación pueden incluir un ángulo o una tasa de cambio de ángulo. Por ejemplo, en una realización, la determinación de la señal o señales de prealimentación puede incluir determinar, a través del controlador, un ángulo de potencia de prealimentación en función del comando o comandos de control, la señal o señales de

control y una o más primeras condiciones eléctricas del recurso basado en inversor. En tales realizaciones, las primeras condiciones eléctricas del recurso basado en inversor pueden incluir, por ejemplo, una impedancia del convertidor y/o una tensión terminal.

La determinación de la señal o señales de prealimentación incluye determinar, a través del controlador, un ángulo de bucle de bloqueo de fase de prealimentación para un bucle de bloqueo de fase del controlador en función del comando o comandos de control, la señal o señales de control y una o más segundas condiciones eléctricas del recurso basado en inversor. En tales realizaciones, por ejemplo, la segunda condición o condiciones eléctricas del recurso basado en inversor puede incluir una tensión terminal, una impedancia de prealimentación y/o una tensión de prealimentación.

Aún con referencia a la fig. 9, como se muestra en (208), el método 200 incluye el uso de la señal o señales de prealimentación para posicionar al menos un ángulo de control del recurso basado en inversor en un valor anticipado necesario para lograr uno o más comandos de referencia, posibilitando así una rápida respuesta a uno o más comandos de referencia recibidos desde el controlador externo. El uso de la señal o señales de prealimentación para posicionar el ángulo o ángulos de control del recurso basado en inversor al valor anticipado necesario para lograr uno o más comandos de referencia incluye la determinación, a través del controlador, de un ángulo de potencia y un ángulo de bucle de bloqueo de fase en función del ángulo de potencia de prealimentación y del ángulo del bucle de bloqueo de fase de prealimentación, respectivamente.

El método 200 de la fig. 9 ahora se puede comprender mejor con referencia al sistema 300 ilustrado en la fig. 10. En particular, la fig. 10 ilustra un diagrama de control de una realización del sistema 300 para proporcionar control de formación de red de un recurso basado en inversor. Como se muestra, el sistema 300 puede incluir muchas de las mismas características de la fig. 3 descritas en la presente memoria. Más específicamente, como se muestra, la fig. 10 ilustra una única estructura de regulador de potencia (en comparación con el regulador 4 de potencia convencional de la fig. 3) que incluye control de alimentación directa de potencia de formación de red según la presente descripción. Como se muestra, el controlador 120 del convertidor recibe una referencia de potencia P_{ref} y unos límites de comando de potencia $P_{cmdLimits}$ desde un controlador de nivel superior (por ejemplo, el controlador 26 de turbina y/o el controlador 156 a nivel de parque). Estos límites de nivel superior se refieren a cantidades físicas de tensión, corriente y potencia. Por lo tanto, como se muestra, el regulador de potencia tiene límites finales aplicados a los comandos de control del convertidor para el ángulo de potencia (por ejemplo, $\theta_{P_{ang}}$) para implementar restricciones sobre los componentes reales de la corriente, respectivamente. En particular, como se muestra en la fig. 10, el sistema 300 de la presente descripción proporciona una respuesta rápida a los comandos de control utilizando una ruta 302 de prealimentación y una función 304 de límite de potencia mejorada.

Más específicamente, como se muestra en la fig. 11, se proporciona un diagrama fasorial según una realización de la presente descripción que define las relaciones fasoriales entre las tensiones del sistema, el bucle 305 de bloqueo de fase (PLL) y la referencia de frecuencia fija. Por consiguiente, el flujo de potencia es una función del ángulo del convertidor con respecto al equivalente remoto y las impedancias del sistema 300, así como las amplitudes de tensión. En una realización, a modo de ejemplo, se supone que las resistencias son insignificantes para mayor claridad. Así, para el circuito de formación de red convencional mostrado en la fig. 2, así como el único regulador de potencia que forma la red de la fig. 10, existen las siguientes relaciones físicas:

$$P = V_{cnv} * V_{thv} * \sin(\theta_{V_{cnv}} - \theta_{V_{thv}}) / (X_{cnv} + X_{thv}) \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$P = V_t * V_{thv} * \sin(\theta_{V_t} - \theta_{V_{thv}}) / (X_{thv}) \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$P = V_{cnv} * V_t * \sin(\theta_{V_{cnv}} - \theta_{V_t}) / (X_{cnv}) \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde P es la potencia,

V_{cnv} es la tensión del convertidor,

V_{thv} es la tensión equivalente de Thevenin,

V_t es la tensión terminal,

$\theta_{V_{cnv}}$ es el ángulo de la tensión del convertidor;

$\theta_{V_{thv}}$ es el ángulo de la tensión equivalente de Thevenin,

θ_{V_t} es el ángulo de la tensión terminal en el sistema,

X_{cnv} es la impedancia del convertidor, y

X_{thv} es la impedancia equivalente de Thevenin.

Por consiguiente, la lógica de activación del convertidor de la fig. 10 está configurada para crear una tensión de convertidor con un ángulo basado en la señal de control θ_{Pang} y θ_{PLL} . En otras realizaciones, la tensión con ángulo basado en θ_{Pang} y θ_{PLL} puede ser creada por otro equipo con capacidad de creación de un fasor de tensión. En realizaciones particulares, por ejemplo, el bucle 305 de bloqueo de fase mide el ángulo θ_{PLL} , que en estado estacionario es igual al ángulo θ_{Vt} de la tensión V_t en el sistema. En tales realizaciones, estos valores son con respecto al ángulo de referencia del sistema. Durante los transitorios, una señal de error θ_{PLLerr} se genera en esta medición como se muestra en la fig. 11.

Por lo tanto, existen las siguientes relaciones con respecto a las señales del ángulo de control:

$$\theta_{Vcnv} = \theta_{Pang} + \theta_{PLL} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\theta_{PLL} = \theta_{Vt} - \theta_{PLLerr} \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$\theta_{Vcnv} = \theta_{Pang} + \theta_{Vt} - \theta_{PLLerr} \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$(\theta_{Vcnv} - \theta_{Vt}) = \theta_{Pang} - \theta_{PLLerr} \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$P = V_{cnv} * V_t * \sin(\theta_{Pang} - \theta_{PLLerr}) / (X_{cnv}) \quad \text{Ecuación (8)}$$

Además, el ángulo del bucle 305 de bloqueo de fase es la integral de la frecuencia de PLL ω_{PLL} , como se muestra en la Ecuación (9) a continuación:

$$\theta_{PLL} = 1/s [\omega_{PLL}] \quad \text{Ecuación (9)}$$

Además, el ángulo de potencia del regulador de potencia es la integral de la frecuencia del regulador de potencia menos la frecuencia del PLL ω_{PLL} , como se muestra en las ecuaciones (10)-(11) a continuación:

$$\theta_{Pang} = 1/s [\omega_{Preg} - \omega_{PLL}] \quad \text{Ecuación (10)}$$

$$\theta_{Pang} = 1/s [\omega_{Preg}] - \theta_{PLL} \quad \text{Ecuación (11)}$$

El ángulo de la tensión del convertidor con respecto a la referencia del sistema es igual a la integral de la señal de frecuencia del regulador de potencia ω_{Preg} y es independiente del error PLL, como se muestra en la Ecuación (12) a continuación:

$$\theta_{Vcnv} = 1/s [\omega_{Preg}] \quad \text{Ecuación (12)}$$

Por consiguiente, y con referencia de nuevo a la fig. 10, para minimizar la latencia a las variaciones en el comando de potencia, el sistema 300 está configurado para calcular dos ángulos de prealimentación (es decir, θ_{pangff} y θ_{PLLff}), como se muestra en 314 y en 316 en la ruta 302 de prealimentación, respectivamente. Por lo tanto, como se muestra en 310 y en 312, los ángulos de prealimentación θ_{pangff} y θ_{PLLff} (por ejemplo, en radianes) se puede diferenciar para obtener una tasa de cambio de ángulo en la frecuencia (por ejemplo, ω_{pangff} y ω_{PLLff} con unidades de radianes/segundo). Además, como se muestra en 306 y en 308, las tasas de cambio de ángulo, a continuación, se pueden sumar con señales de frecuencia (por ejemplo, ω_{Pref} y ω_{PLL}). Los resultados de estas sumas se pueden integrar para obtener los ángulos finales (es decir, θ_{Pang} y θ_{PLL}) del convertidor y el PLL.

En realizaciones particulares, los ángulos de prealimentación se pueden calcular invirtiendo las relaciones definidas en las Ecuaciones (9)-(11) para determinar los ángulos necesarios para lograr la potencia deseada, asumiendo que se conoce el equivalente externo. Por lo tanto, en tales realizaciones, el sistema 300 está configurado para determinar el ángulo de potencia de prealimentación en función del comando o comandos de control y la primera condición o condiciones eléctricas del recurso basado en inversor multiplicando el comando de potencia por la impedancia del convertidor para obtener un primer producto, multiplicando un comando de tensión del convertidor por la tensión terminal para obtener un segundo producto, dividiendo el primer producto por el segundo producto para obtener un cociente y determinar el arcoseno del cociente, como se representa en la ecuación (13) a continuación:

$$\theta_{Pangff} = P_{ffPang}(P_{cmd}, X_{cnv}, V_{cnvCmd}, V_t) = \arcsin(P_{cmd} * X_{cnv} / (V_{cnvCmd} * V_t))$$

Ecuación (13)

En otra realización, el sistema 300 está configurado para determinar el ángulo del bucle de bloqueo de fase de prealimentación con respecto al punto donde la tensión PLL en función del comando o comandos de control y las segunda condición o condiciones eléctricas del recurso basado en inversor multiplicando el comando de potencia por la impedancia de prealimentación para obtener un primer producto, multiplicando la tensión de prealimentación por la tensión terminal para obtener un segundo producto, dividiendo el primer producto por el segundo producto para obtener un cociente, y determinando el arcoseno del cociente, como se representa en la Ecuación (14) a continuación:

$$\theta_{PLLff} = P_{ffPLL}(P_{cmd}, X_{thFF}, V_{thFF}, V_t) = \arcsin(P_{cmd} * X_{thFF} / (V_{thFF} * V_t))$$

Ecuación (14)

En ciertas realizaciones, la impedancia de prealimentación X_{thFF} puede que no sea de conocimiento general. En tales realizaciones, el sistema 300 puede configurarse para estimar la impedancia de prealimentación como un valor de impedancia de punto central o medio entre un sistema más fuerte y un sistema débil. Por ejemplo, en una realización, la impedancia de prealimentación puede ser de aproximadamente 0,3 pu. En tales realizaciones, para redes más fuertes, la predicción puede ser un exceso, mientras que para redes más débiles, la predicción puede ser insuficiente. Además, en una realización, el sistema 300 puede configurarse para estimar dinámicamente la tensión de prealimentación en función de al menos uno de potencia real, potencia reactiva, tensión o impedancia de prealimentación. Alternativamente, el sistema 300 puede configurarse para establecer la tensión de prealimentación como un valor fijo. En aún otras realizaciones, la tensión de prealimentación equivalente de Thevenin V_{thFF} puede ser un valor constante, tal como aproximadamente 1 pu. En realizaciones adicionales, si se desea, el sistema 300 también puede utilizar el terminal P, Q, V combinado con la suposición de X_{thFF} para calcular el valor efectivo de V_{thFF} dinámicamente. Por consiguiente, debería comprenderse que los valores de los parámetros se pueden estimar utilizando simulaciones de las aplicaciones esperadas del proyecto. Por lo tanto, los expertos en la técnica pueden seleccionar el filtrado y los ajustes apropiados para lograr implementaciones prácticas que logren una respuesta rápida para controlar las variaciones del comando.

Aún con referencia a la fig. 10, en realizaciones particulares, la ruta 302 de prealimentación del sistema 300 puede determinar, a continuación, el ángulo de potencia θ_{Pang} y el ángulo del bucle de bloqueo de fase θ_{PLL} en función del ángulo de potencia de prealimentación θ_{Pangff} y el ángulo del bucle de bloqueo de fase de prealimentación θ_{PLLff} , respectivamente. En particular, en ciertas realizaciones, como se muestra, la ruta 302 de prealimentación puede diferenciar el ángulo de potencia de prealimentación y los ángulos de bucle de bloqueo de fase de prealimentación, como se muestra en 310 y en 312 respectivamente. Además, como se muestra en 306 y en 308, la ruta 302 de prealimentación puede sumar el ángulo de potencia de prealimentación diferenciado y el ángulo de bloqueo de fase de prealimentación diferenciado al ángulo de potencia y al ángulo de bucle de bloqueo de fase, respectivamente, para obtener el ángulo de potencia θ_{Pang} y el ángulo del bucle de bloqueo de fase θ_{PLL} que puede ser utilizado por el control de activación del convertidor.

En realizaciones adicionales, como se muestra en la fig. 10, la función 304 de límite de potencia mejorada del sistema 300 también puede proporcionar límites en el ángulo de potencia a través de la reactancia del convertidor. Por lo tanto, dichos límites están configurados para proporcionar una restricción de la potencia para impedir un exceso desmesurado mientras otros reguladores actúan para establecerse después de un transitorio severo. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, los límites superior e inferior (por ejemplo, $\theta_{PangMax}$ y $\theta_{PangMin}$) se puede calcular multiplicando cada uno de un comando de potencia máxima y un comando de potencia mínima por la impedancia del convertidor para obtener un producto máximo y un producto mínimo, respectivamente, multiplicando un comando de tensión del convertidor por la tensión terminal para obtener un segundo producto, dividiendo cada uno del producto máximo y del producto mínimo por el segundo producto, respectivamente, para obtener un cociente máximo y un cociente mínimo, determinando el arcoseno de cada uno del cociente máximo y del cociente mínimo, y sumando un error de bucle de bloqueo de fase al arcoseno del cociente máximo y al arcoseno del cociente mínimo, como se representa en las Ecuaciones (15) y (16) a continuación:

$$\theta_{PangMax} = \arccos(P_{cmdMax} * X_{cnv} / (V_{cnvCmd} * V_t)) + \theta_{PLLff}$$

Ecuación (15)

$$\theta_{PangMin} = \arccos(P_{cmdMin} * X_{cnv} / (V_{cnvCmd} * V_t)) + \theta_{PLLff}$$

Ecuación (16)

5 Esta descripción escrita utiliza ejemplos para dar a conocer la invención, incluyendo el mejor modo, y también para posibilitar que cualquier experto en la técnica practique la invención, incluyendo la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier método incorporado. El alcance patentable de la invención está definido 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 difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método para proporcionar control de formación de red de un recurso (10) basado en inversor, comprendiendo el método:

5 la recepción, a través de un controlador (120), de uno o más comandos de referencia (Pref, PcmdLimits) desde un controlador (156) externo;

la determinación, a través del controlador (120), de uno o más comandos de control (Pcmd, VcnvCmd) para el recurso (10) basado en inversor basándose en el uno o más comandos de referencia (Pref, PcmdLimits);

10 la determinación, a través del controlador (120), de al menos una señal de prealimentación en función del uno o más comandos de control (Pcmd, VcnvCmd), una o más señales de control (θ_{Pang} , θ_{PLL}), y una o más condiciones eléctricas estimadas del recurso (10) basado en inversor, determinando la al menos una señal de prealimentación que comprende;

15 la determinación, a través del controlador (120), de un ángulo de potencia de prealimentación (θ_{Pangff}) en función del uno o más comandos de control (Pcmd, VcnvCmd), la una o más señales de control (θ_{Pang} , θ_{PLL}), y una o más primeras condiciones eléctricas del recurso (10) basado en inversor; y,

la determinación, a través del controlador (120), de un ángulo de bucle de bloqueo de fase de prealimentación (θ_{PLLff}) para un bucle (305) de bloqueo de fase del controlador (120) en función del uno o más comandos de control (Pcmd, VcnvCmd), la una o más señales de control (θ_{Pang} , θ_{PLL}), y una o más segundas condiciones eléctricas del recurso (10) basado en inversor; y,

20 el uso de al menos una señal de prealimentación para posicionar al menos un ángulo de control (θ_{Pang} , θ_{PLL}) del recurso (10) basado en inversor a un valor anticipado necesario para lograr uno o más comandos de referencia (Pref, PcmdLimits), posibilitando así una respuesta rápida a uno o más comandos de referencia (Pref, PcmdLimits) recibidos desde el controlador (156) externo.

25 2. El método de la reivindicación 1, en donde la señal de prealimentación comprende al menos uno de un ángulo (θ_{Pangff} , θ_{PLLff}) y una tasa de cambio de ángulo (ω_{Pangff} , ω_{PLLff}).

30 3. El método de las reivindicaciones 1-2, en donde una o más primeras condiciones eléctricas del recurso (10) basado en inversor comprenden además al menos una de una impedancia del convertidor o una tensión terminal, y en donde la una o más segundas condiciones eléctricas del recurso (10) basado en inversor comprende además al menos uno de una tensión terminal, una impedancia de prealimentación o una tensión de prealimentación.

4. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se utiliza al menos una señal de prealimentación para posicionar al menos un ángulo de control (θ_{Pang} , θ_{PLL}) del recurso (10) basado en inversor al valor anticipado necesario para lograr uno o más comandos de referencia (Pref, PcmdLimits) comprende, además:

35 la determinación, a través del controlador (120), de una tasa de cambio del ángulo de potencia (ω_{Pangff}) y una tasa de cambio del ángulo del bucle de bloqueo de fase (ω_{PLLff}) en función del ángulo de potencia de prealimentación (θ_{Pangff}) y el ángulo del bucle de bloqueo de fase de prealimentación (θ_{PLLff}), respectivamente.

40 5. El método de la reivindicación 4, en donde se determina la tasa de cambio del ángulo de potencia y la tasa de cambio del ángulo del bucle de bloqueo de fase en función del ángulo de potencia de prealimentación (θ_{Pangff}) y el ángulo del bucle de bloqueo de fase de prealimentación (θ_{PLLff}), respectivamente, comprende, además:

la suma de una tasa de cambio de ángulo de potencia de prealimentación y una tasa de cambio de ángulo de bloqueo de fase de prealimentación a una frecuencia del regulador de potencia y una frecuencia de bucle de bloqueo de fase, respectivamente.

45 6. El método de la reivindicación 3, en donde uno o más comandos de referencia (Pref, PcmdLimits) comprenden al menos uno de una referencia de potencia (Pref) o uno o más límites de comando de potencia (PcmdLimits) del controlador (156) externo, y en donde el uno o más comandos de control (Pcmd, VcnvCmd) comprende un comando de potencia (Pcmd).

50 7.- El método de la reivindicación 6, en donde la determinación del ángulo de potencia de prealimentación (θ_{Pangff}) en función del uno o más comandos de control (Pcmd, VcnvCmd), la una o más señales de control (θ_{Pang} , θ_{PLL}), y la una o más primeras condiciones eléctricas del recurso (10) basado en inversor comprende, además:

la multiplicación del comando de potencia por la impedancia del convertidor para obtener un primer producto;

la multiplicación de un comando de tensión del convertidor por la tensión del terminal para obtener un segundo producto;

la división del primer producto por el segundo producto para obtener un cociente; y

la determinación del arcoseno del cociente.

- 5 8. El método de la reivindicación 7, en donde la determinación del ángulo del bucle de bloqueo de fase de prealimentación (θ_{PLLf}) para el bucle de bloqueo de fase del controlador (120) en función del uno o más comandos de control (Pcmd, VcnvCmd), la una o más señales de control (θ_{Pang} , θ_{PLL}), y la una o más segundas condiciones eléctricas del recurso (10) basado en inversor comprende, además:

10 la multiplicación del comando de potencia por la impedancia de prealimentación para obtener un primer producto;

la multiplicación de la tensión de prealimentación por la tensión terminal para obtener un segundo producto;

la división del primer producto por el segundo producto para obtener un cociente; y

la determinación del arcoseno del cociente.

- 15 9. El método de la reivindicación 8, que comprende además la estimación de la impedancia de prealimentación como un valor de impedancia central entre un sistema más fuerte y un sistema débil.

10. El método de la reivindicación 8, que comprende además la estimación de forma dinámica de la tensión de prealimentación en función de al menos uno de entre potencia real, potencia reactiva, tensión o impedancia de prealimentación.

- 20 11. El método de la reivindicación 8, que comprende además el establecimiento de la tensión de prealimentación como un valor fijo.

12. El método de la reivindicación 4, en donde se utiliza la al menos una señal de prealimentación para posicionar el al menos un ángulo de control (θ_{Pang} , θ_{PLL}) del recurso (10) basado en inversor en el valor anticipado necesario para lograr el uno o más comandos de referencia (Pref, PcmdLimits) comprende, además:

- 25 la determinación de los límites superior e inferior del ángulo de potencia ($\theta_{PangMin}$, $\theta_{PangMax}$) para el al menos un ángulo de control (θ_{Pang} , θ_{PLL}); y

la aplicación de los límites del ángulo de potencia superior e inferior al ángulo de potencia para proporcionar una restricción de potencia mientras uno o más reguladores del recurso (10) basado en inversor actúan para establecerse después de un evento transitorio.

- 30 13. El método de la reivindicación 12, en donde la determinación de los límites superior e inferior del ángulo de potencia para el al menos un ángulo de control (θ_{Pang} , θ_{PLL}) comprende, además:

la multiplicación de cada uno de un comando de potencia máxima y un comando de potencia mínima por la impedancia del convertidor para obtener un producto máximo y un producto mínimo, respectivamente;

la multiplicación de un comando de tensión del convertidor por la tensión terminal para obtener un segundo producto;

- 35 la división de cada uno de los productos máximo y del producto mínimo por el segundo producto, respectivamente, para obtener un cociente máximo y un cociente mínimo;

la determinación del arcoseno de cada uno de los cociente máximo y del cociente mínimo; y

la suma de un error de bucle de bloqueo de fase al arcoseno del cociente máximo y al arcoseno del cociente mínimo.

- 40 14. Un controlador (120) de convertidor para proporcionar control de formación de red de un recurso (10) basado en inversor, comprendiendo el controlador de convertidor (120):

al menos un controlador que comprende al menos un procesador, el al menos un procesador configurado para realizar una pluralidad de operaciones, la pluralidad de operaciones comprende:

la recepción de uno o más comandos de control (Pcmd, VcnvCmd);

la determinación de al menos una señal de prealimentación en función del uno o más comandos de control (Pcmd, VcnvCmd), la una o más señales de control (θ_{Pang} , θ_{PLL}), y una o más condiciones eléctricas estimadas del recurso (10) basado en inversor, determinando la al menos una señal de prealimentación que comprende;

5 la determinación, a través del controlador (120), de un ángulo de potencia de prealimentación (θ_{Pangff}) en función del uno o más comandos de control (Pcmd, VcnvCmd), la una o más señales de control (θ_{Pang} , θ_{PLL}), y una o más primeras condiciones eléctricas del recurso (10) basado en inversor; y,

10 la determinación, a través del controlador (120), de un ángulo de bucle de bloqueo de fase de prealimentación (θ_{PLLff}) para un bucle de bloqueo de fase del controlador (120) en función del uno o más comandos de control (Pcmd, VcnvCmd), la una o más señales de control (θ_{Pang} , θ_{PLL}), y una o más segundas condiciones eléctricas del recurso (10) basado en inversor; y,

el uso de al menos una señal de prealimentación para posicionar al menos un ángulo de control (θ_{Pang} , θ_{PLL}) del recurso (10) basado en inversor en un valor anticipado necesario para lograr el uno o más comandos de referencia (Pref, PcmdLimits), posibilitando así una rápida respuesta al uno o más comandos de referencia (Pref, PcmdLimits) recibidos desde el controlador (156) externo.

15 15. El controlador (120) del convertidor de la reivindicación 14, en donde el al menos un procesador está configurado para realizar las operaciones descritas en cualquiera de las reivindicaciones 2 a 13.

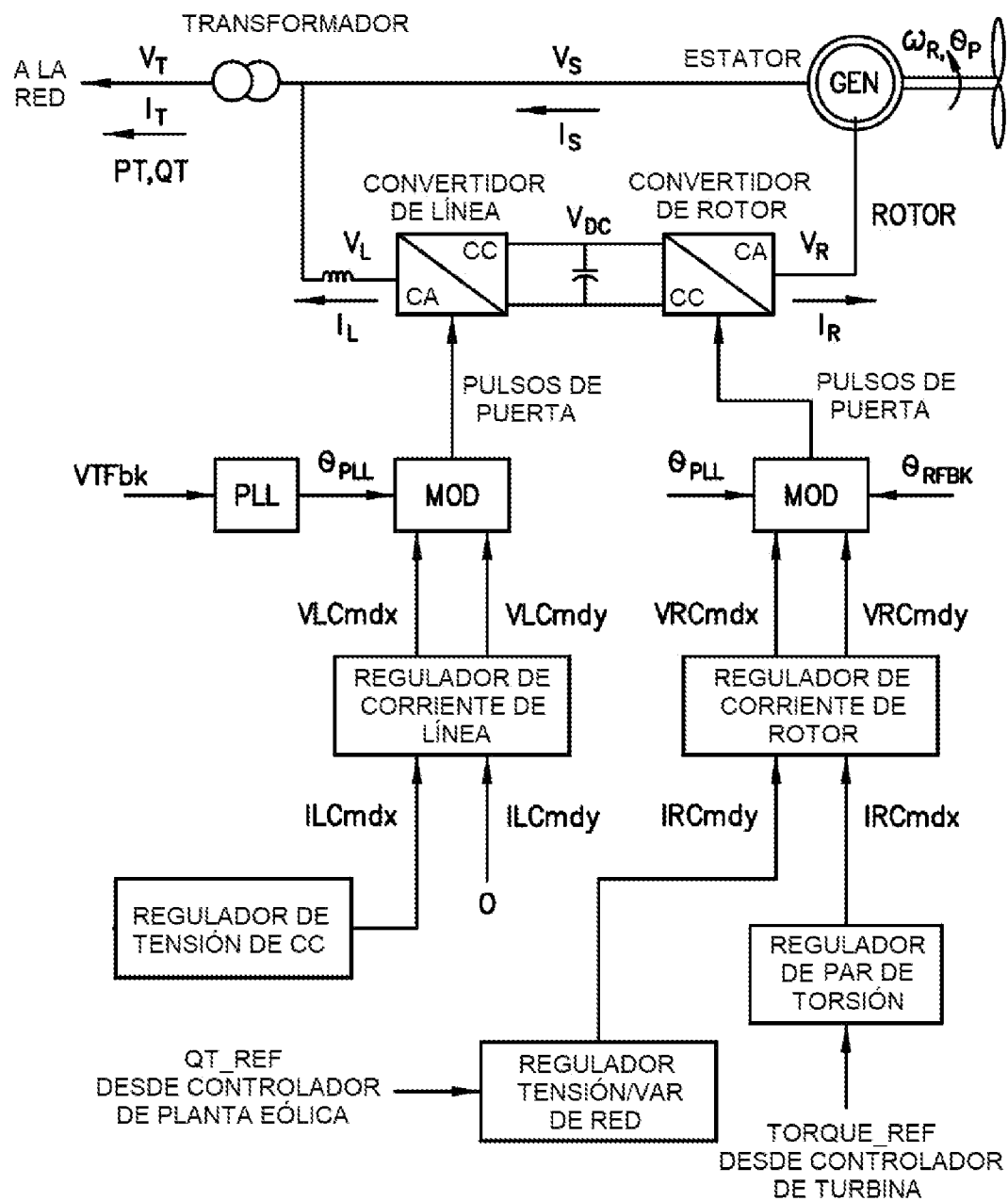


FIG. -1-
TÉCNICA ANTERIOR

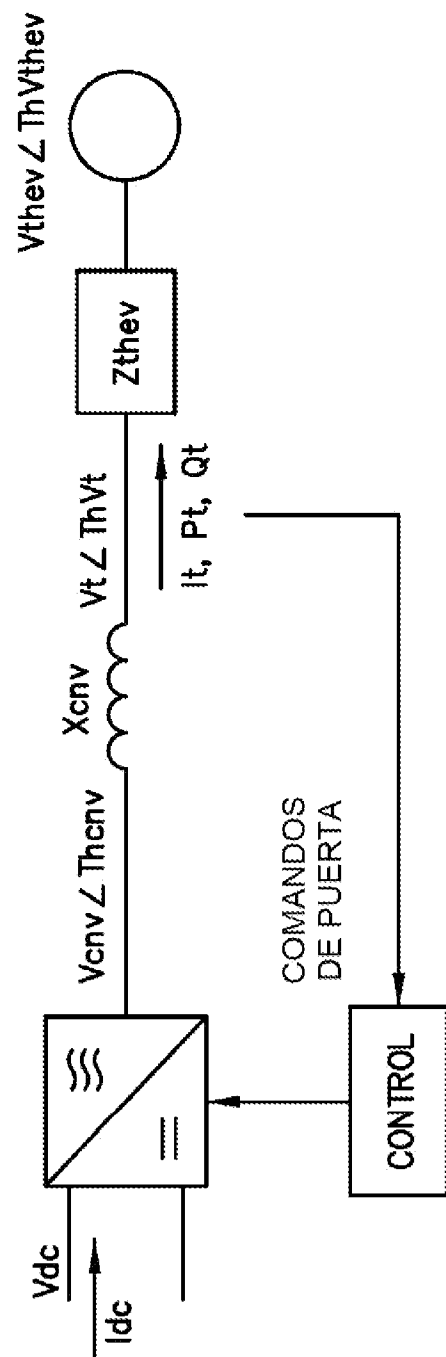


FIG. -2-
TÉCNICA ANTERIOR

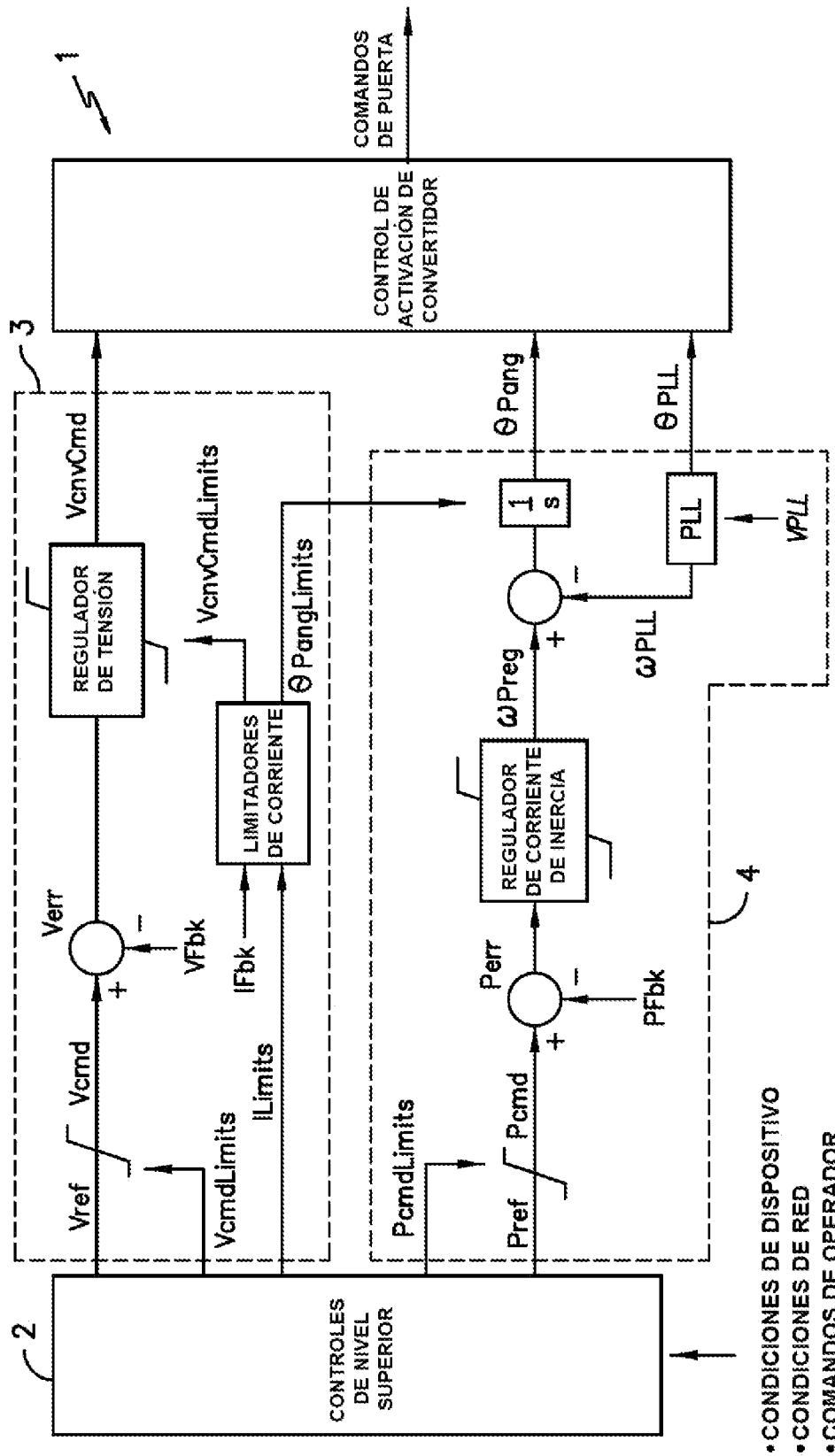


FIG. -3-

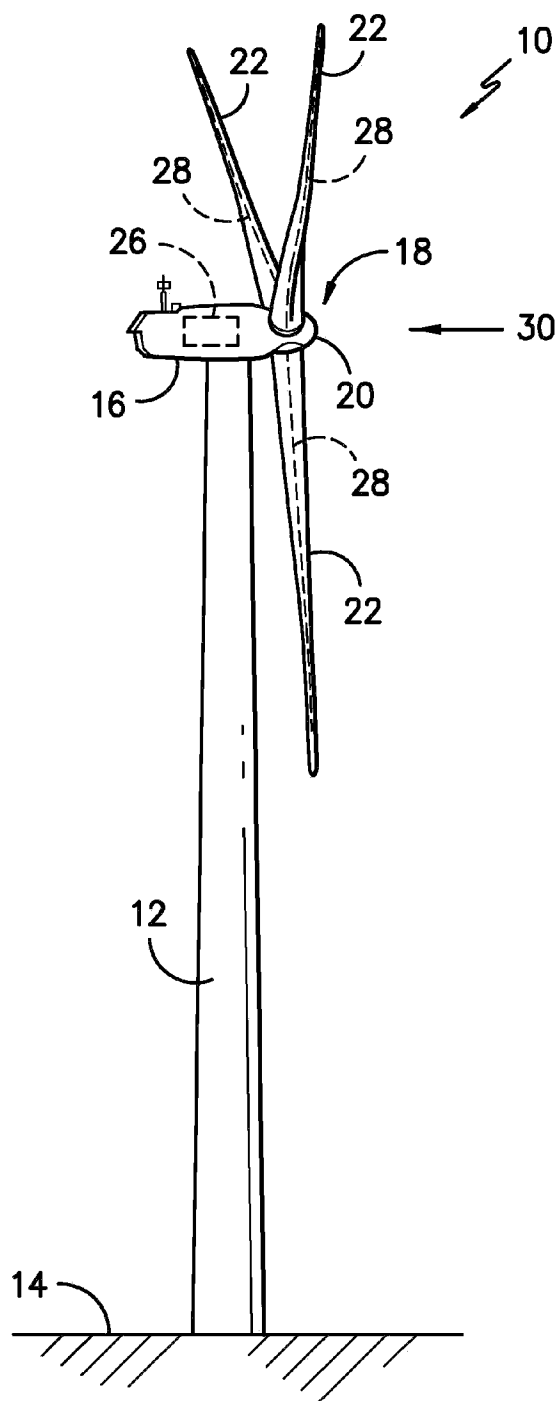
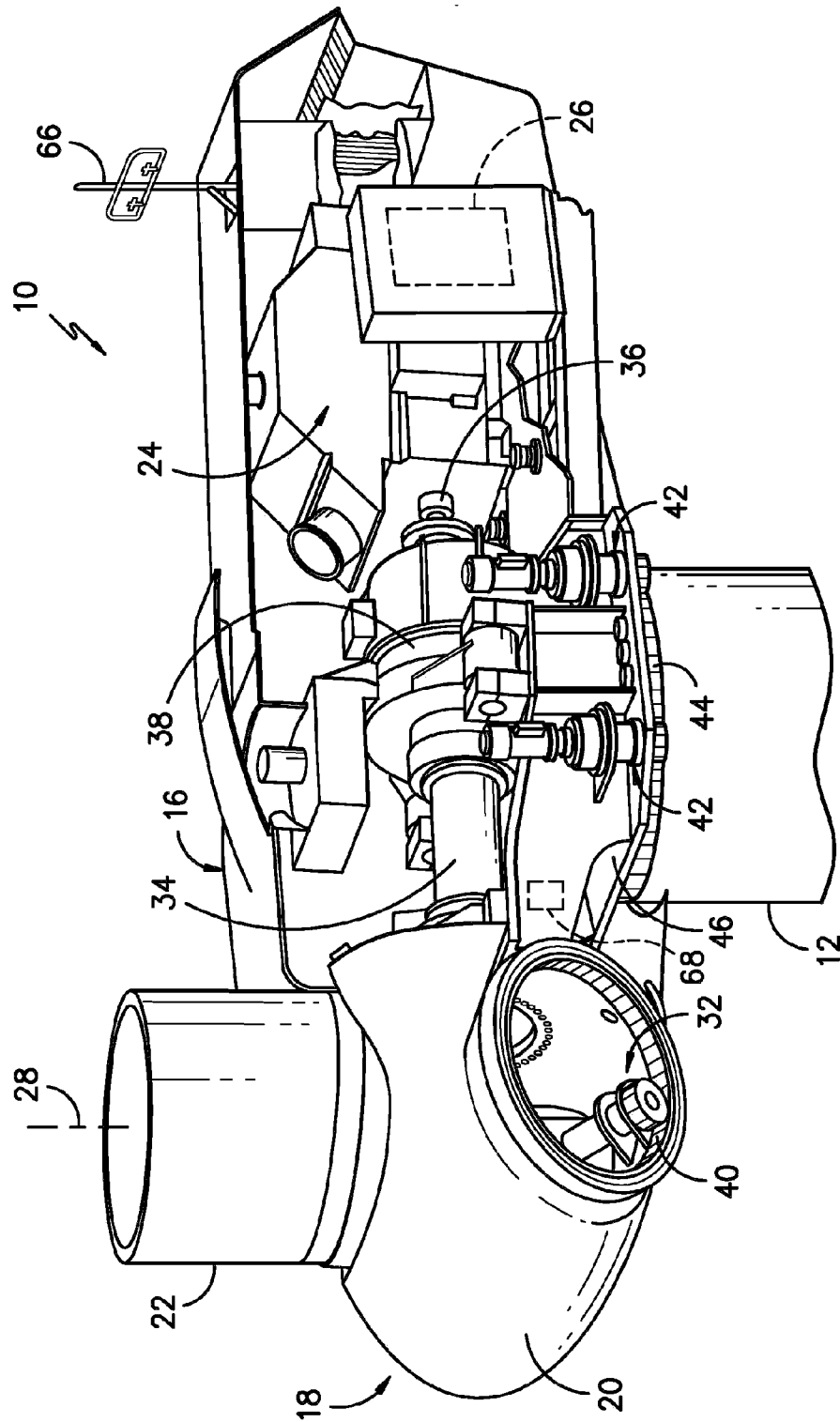


FIG. -4-



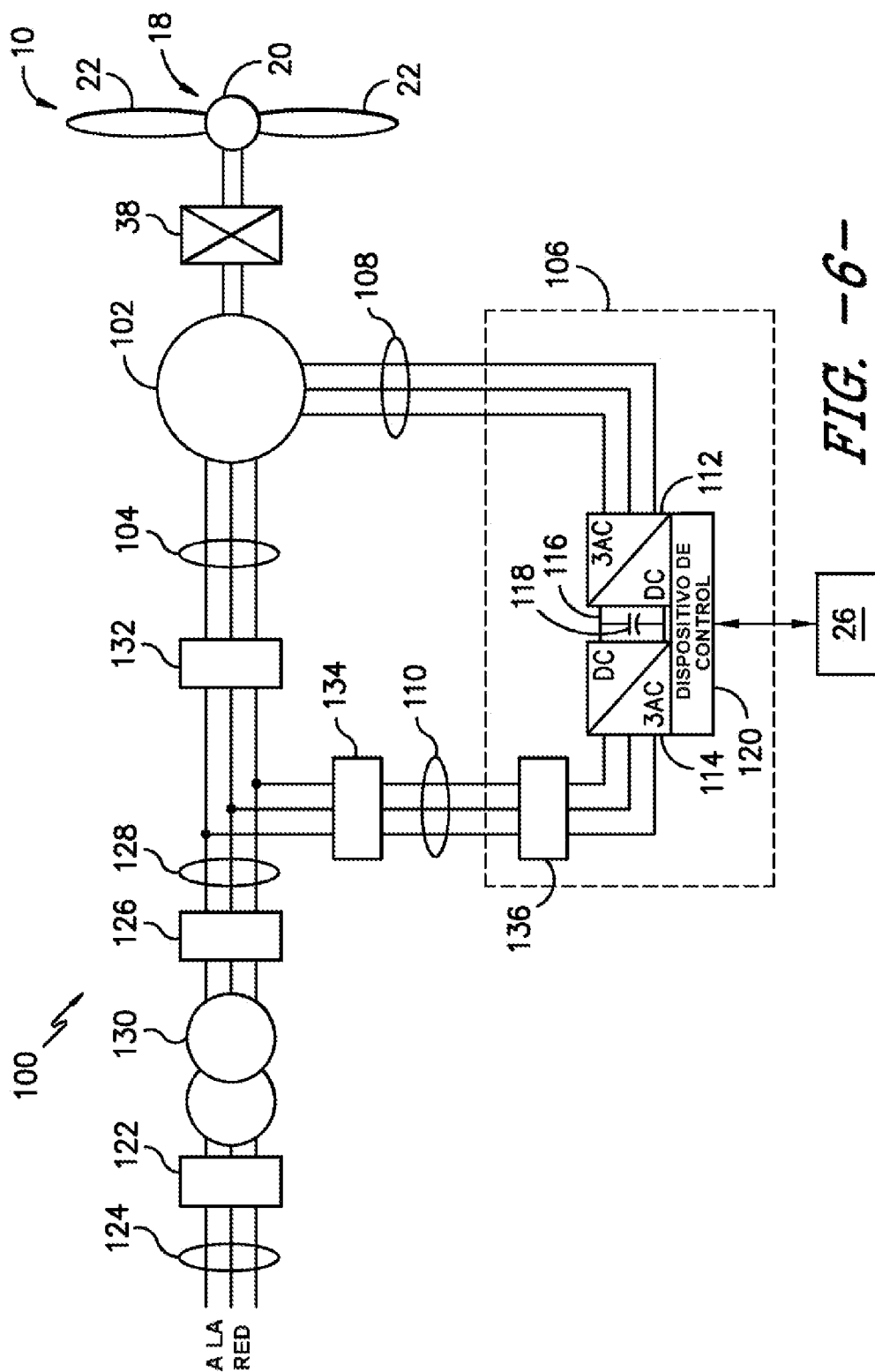


FIG. -6-

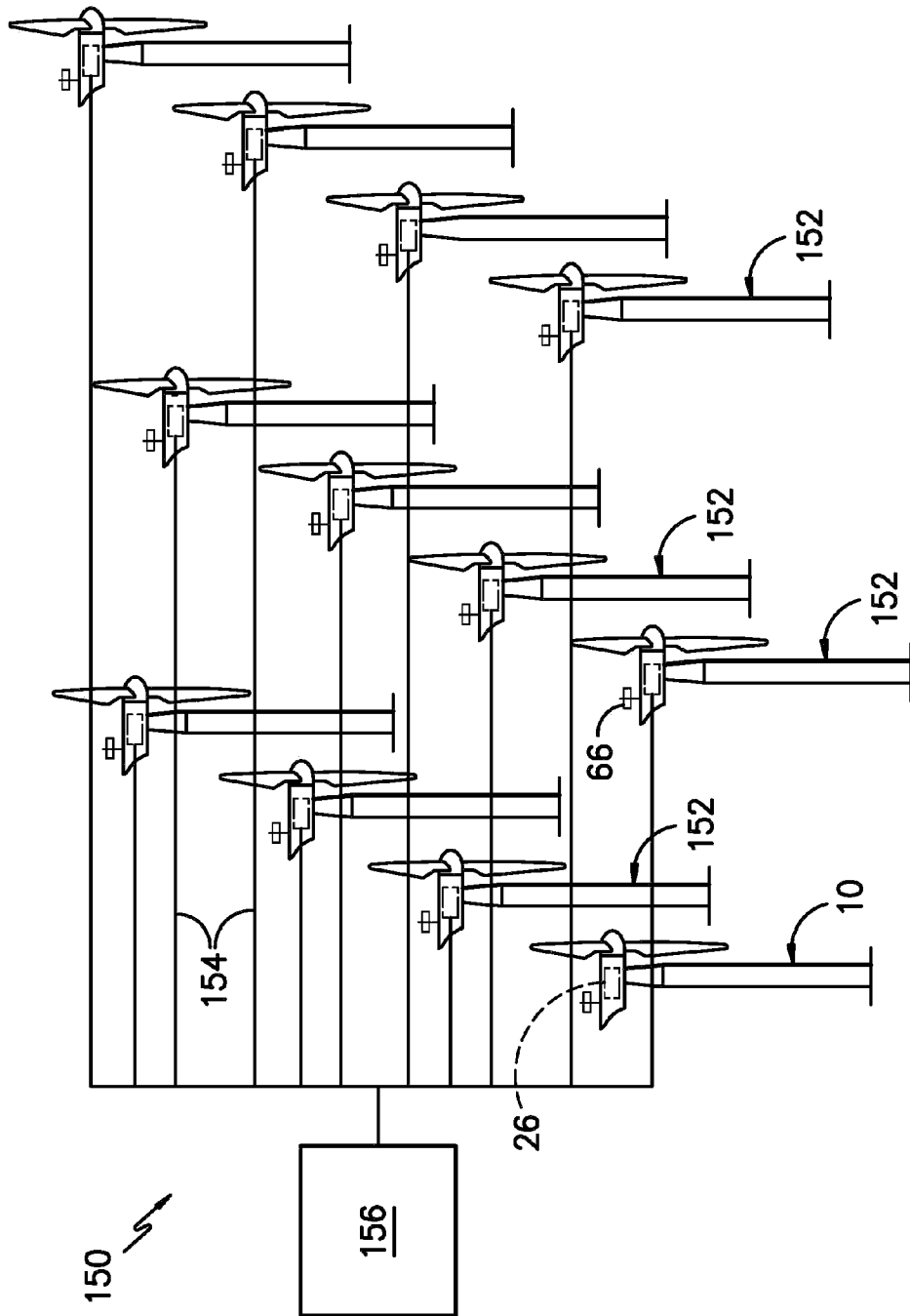


FIG. -7-

26,120,156

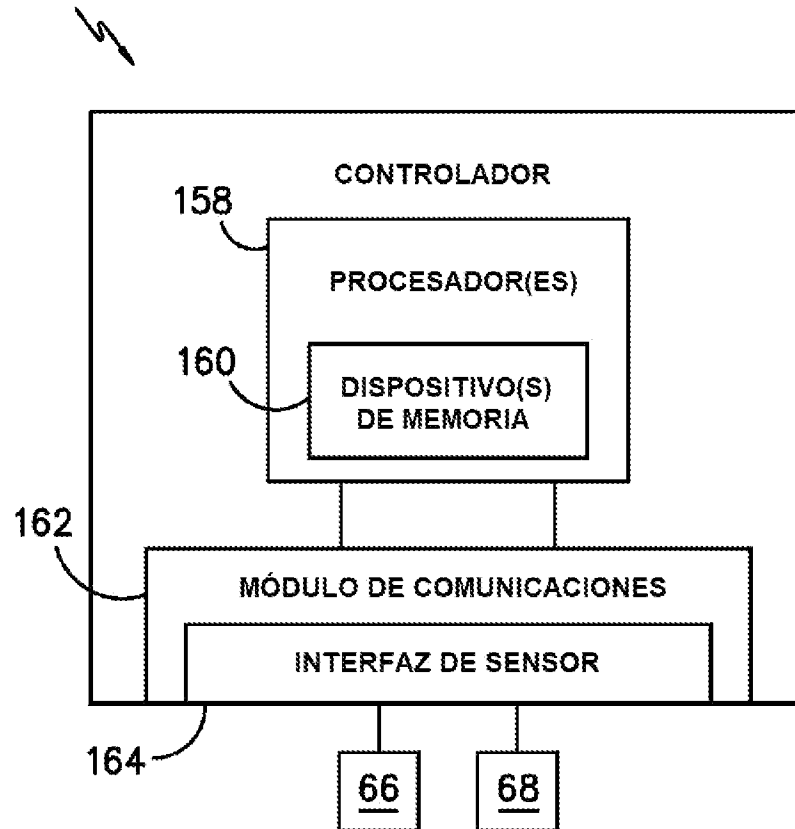


FIG. -8-

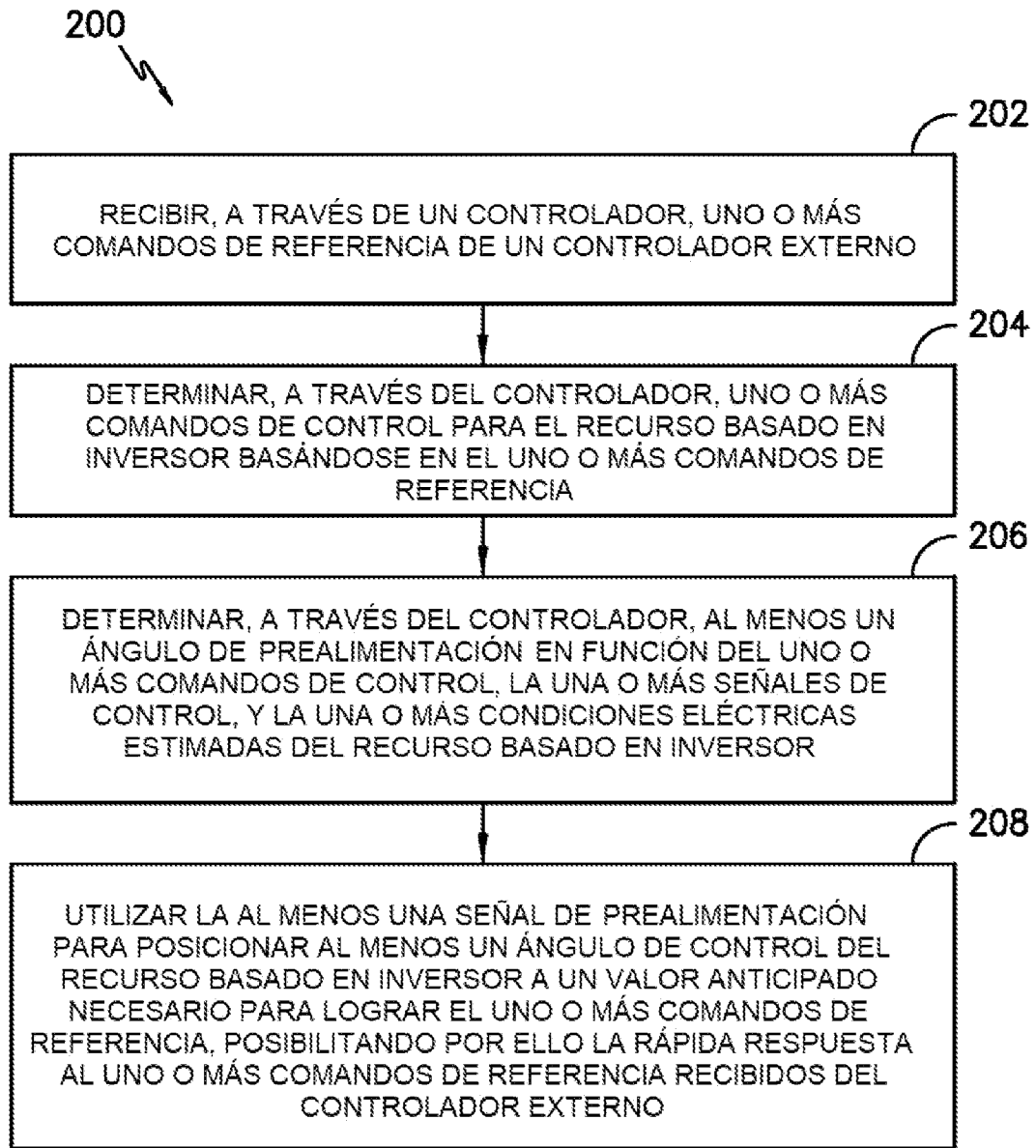


FIG. -9-

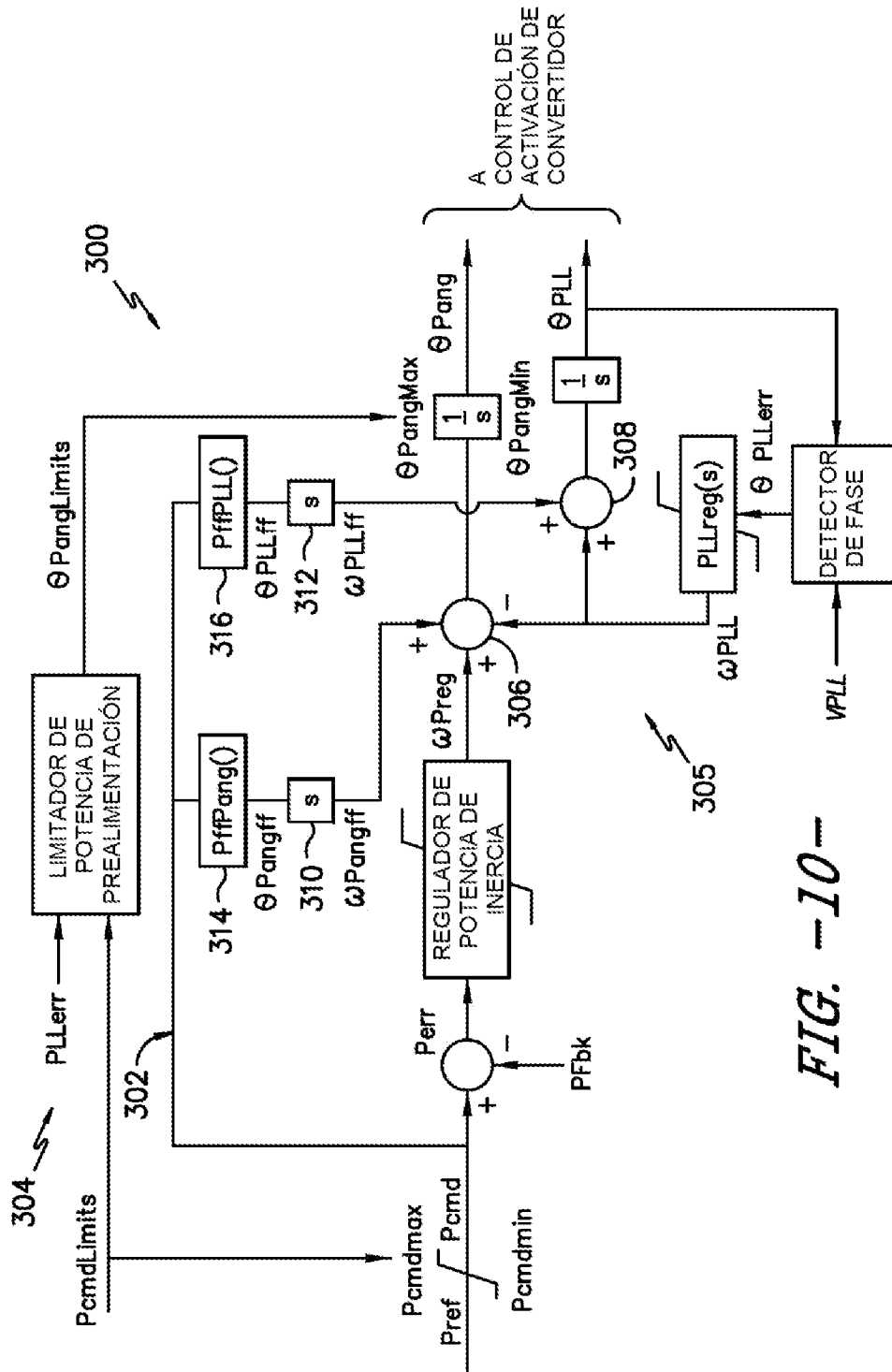


FIG. -10-

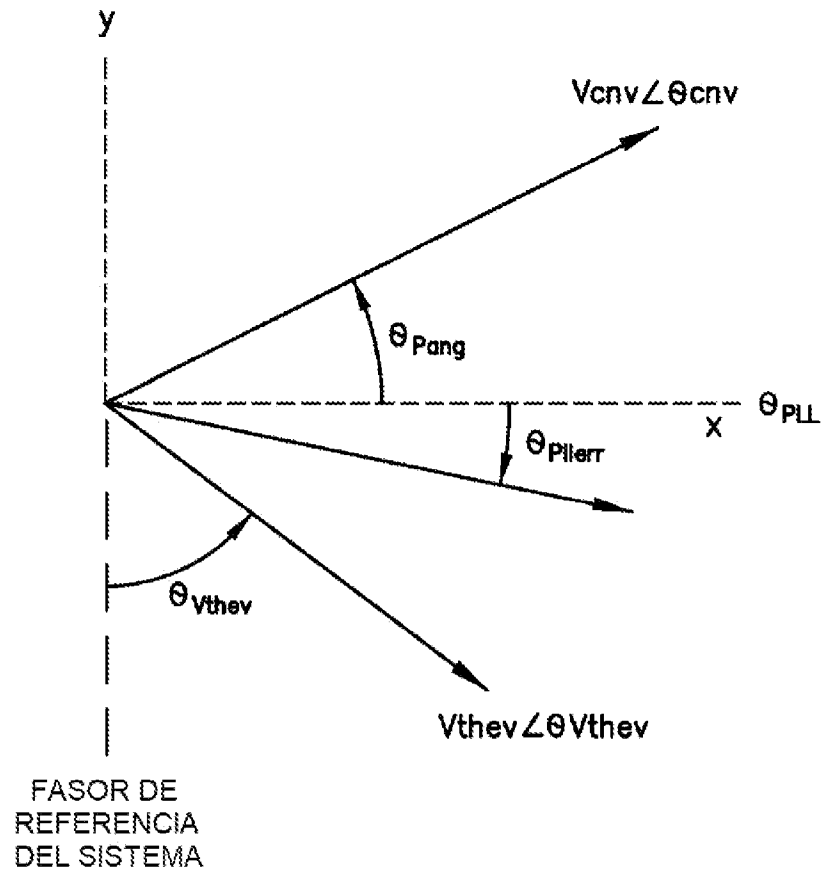


FIG. -11-