

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 833 123**

51 Int. Cl.:

H02P 9/00 (2006.01)

H02P 9/10 (2006.01)

H02P 21/05 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.04.2013 E 13164778 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.08.2020 EP 2658112**

54 Título: **Procedimientos y sistemas para controlar un convertidor de potencia**

30 Prioridad:

24.04.2012 US 201213454647

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

14.06.2021

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

LARSEN, EINAR VAUGHN

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 833 123 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

Procedimientos y sistemas para controlar un convertidor de potencia

5 **[0001]** La materia descrita en el presente documento se refiere, en general, a controlar el funcionamiento de los sistemas de generación y suministro de energía, y, más específicamente, a estabilizar un convertidor de potencia después de un evento de contingencia de la red eléctrica.

10 **[0002]** Los aerogeneradores utilizan energía eólica para producir energía eléctrica. Los aerogeneradores típicamente incluyen un rotor que tiene múltiples palas que transforman la energía eólica en un movimiento de rotación de un eje motor, que, a su vez, se utiliza para accionar un generador eléctrico para producir energía eléctrica. Cada una de las múltiples palas se puede pitchear para incrementar o disminuir la velocidad de rotación del rotor. Una salida de potencia de un generador de turbina eólica se incrementa con la velocidad del viento hasta que la velocidad del viento alcanza una velocidad nominal del viento para la turbina. A la velocidad nominal del viento y por encima, el generador de turbina eólica funciona a una potencia nominal.

15 **[0003]** El funcionamiento a velocidad variable del generador de turbina eólica facilita la captura potenciada de energía por el generador de turbina eólica en comparación con un funcionamiento a velocidad constante del generador de turbina eólica. Sin embargo, el funcionamiento a velocidad variable del generador de turbina eólica produce electricidad que tiene tensión y/o frecuencia variables. Más específicamente, la frecuencia de la electricidad generada por el generador de turbina eólica a velocidad variable es proporcional a la velocidad de rotación del rotor. Se puede acoplar un convertidor de potencia entre el generador eléctrico y una red eléctrica. El convertidor de potencia genera electricidad que tiene una tensión y una frecuencia fijos para su suministro en la red eléctrica. Véase, por ejemplo, el documento US 2012/010759.

20 **[0004]** La energía generada por una empresa eléctrica, que usa fuentes de energía renovables o fuentes de energía basadas en combustibles fósiles, típicamente se suministra a un cliente a través de una red eléctrica. Se requiere que la electricidad aplicada a la red eléctrica cumpla con las expectativas de conectividad a la red. Estos requisitos abordan cuestiones de seguridad, así como asuntos sobre la calidad de la energía. Por ejemplo, las expectativas de conectividad a la red incluyen hacer funcionar el sistema de generación de energía durante un evento transitorio, también denominado en el presente documento un evento de fallo de la red y/o un evento de contingencia de la red. Esta capacidad se puede denominar soporte ante huecos de tensión (LVRT) o soporte ante tensión cero (ZVRT). Un evento LVRT/ZVRT es una condición donde la tensión de la red de corriente alterna (CA) es baja en una fase de la red eléctrica o en múltiples fases de la red eléctrica. Durante un evento LVRT/ZVRT, la capacidad de la red eléctrica para aceptar energía del sistema de generación de energía es baja. Después de las acciones de conmutación en la red externa, la impedancia de la red se puede incrementar sustancialmente, dando lugar a una condición denominada en el presente documento "red débil".

25 **[0005]** Se controla el funcionamiento del convertidor de potencia para facilitar el LVRT/ZVRT. Una vez que el evento LVRT/ZVRT se disipa, el convertidor de potencia se controla para facilitar la recuperación del evento y devolver al sistema de generación de energía al funcionamiento en estado estable. Durante la recuperación, las oscilaciones del sistema pueden provocar inestabilidad, por ejemplo, inestabilidad en la salida de potencia del convertidor de potencia.

30 **[0006]** Ahora se describirán diversos aspectos y modos de realización de la presente invención en relación con los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de generación de energía ejemplar.

35 La figura 2 es una vista en perspectiva de una parte de una turbina eólica ejemplar que se puede usar en el sistema de generación de energía mostrado en la figura 1.

La figura 3 es una vista en corte parcial de una parte de la turbina eólica mostrada en la figura 2.

40 La figura 4 es un diagrama de bloques de la turbina eólica mostrada en la figura 2.

La figura 5 es un diagrama de bloques de un sistema de generación y suministro de energía ejemplar que puede incluir la turbina eólica mostrada en la figura 2.

45 La figura 6 es un diagrama de bloques de un sistema de control de convertidor ejemplar que se puede incluir dentro del sistema de generación y suministro de energía mostrado en la figura 5.

La figura 7 es un diagrama de bloques de un sistema de estabilizador ejemplar que se puede incluir dentro del sistema de control de convertidor mostrado en la figura 6.

50 La figura 8 es un diagrama de bloques de un sistema de control de convertidor alternativo que se puede incluir

dentro del sistema de generación y suministro de energía mostrado en la figura 5.

Las figuras 9-18 son vistas gráficas que ilustran el funcionamiento de un sistema de generación y suministro de energía después de un evento de contingencia de la red.

La figura 19 es un diagrama de flujo de un procedimiento ejemplar para controlar el sistema de generación y suministro de energía mostrado en la figura 5.

[0007] Como se usa en el presente documento, se pretende que el término "pala" sea representativo de cualquier dispositivo que proporcione fuerza reactiva cuando está en movimiento en relación con un fluido circundante. Como se usa en el presente documento, se pretende que el término "turbina eólica" sea representativo de cualquier dispositivo que genere energía de rotación a partir de energía eólica y, más específicamente, convierta la energía cinética del viento en energía mecánica. Como se usa en el presente documento, se pretende que el término "generador de turbina eólica" sea representativo de cualquier turbina eólica que genere energía eléctrica a partir de energía de rotación generada a partir de energía eólica y, más específicamente, convierta la energía mecánica convertida de energía cinética del viento en energía eléctrica.

[0008] Diversos efectos técnicos de los procedimientos, sistemas y medios legibles por ordenador descritos como modos de realización en el presente documento pueden incluir al menos uno de: (a) monitorizar un parámetro de salida del sistema de generación y suministro de energía, en el que las oscilaciones dentro del parámetro de salida corresponden a oscilaciones del sistema; (b) generar una señal de comando en base a al menos parcialmente el parámetro de salida; y (c) controlar el funcionamiento del convertidor de potencia en base a al menos parcialmente la señal de comando para reducir las oscilaciones del sistema.

[0009] Diversos modos de realización de los procedimientos, sistemas y medios legibles por ordenador descritos en el presente documento pueden facilitar la reducción de las oscilaciones del sistema que se pueden producir durante la recuperación de un evento de contingencia de la red. Como se describe en el presente documento, un estabilizador de regulador de tensión genera una señal de estabilización de regulador de tensión en base a al menos parcialmente un error de PLL medido. La señal de estabilización de regulador de tensión se proporciona a un regulador de tensión que determina un comando de corriente reactiva en base a al menos parcialmente la señal de estabilización de regulador de tensión. Además, un estabilizador de regulador de potencia puede generar una señal de estabilización de regulador de potencia en base a al menos parcialmente el error de PLL medido. La señal de estabilización de regulador de potencia se proporciona a un regulador de potencia que determina un comando de corriente real en base a al menos parcialmente la señal de estabilización de regulador de potencia. El control de la salida de corriente reactiva y/o la salida de corriente real del convertidor de potencia como una función del error de PLL facilita la reducción de las oscilaciones del sistema que se pueden producir durante la recuperación de un evento de contingencia de la red. Además, la reducción de las oscilaciones del sistema estabiliza el sistema de generación de energía y la red de suministro. Aunque en el presente documento se describen, en general, con respecto a una turbina eólica, los procedimientos y sistemas descritos en el presente documento son aplicables a cualquier tipo de sistema de generación eléctrica, incluyendo, por ejemplo, sistemas de generación de energía solar, pilas de combustible, generadores geotérmicos, generadores de energía hidroeléctrica y/u otros dispositivos que generan energía a partir de fuentes de energía renovables y/o no renovables.

[0010] La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de generación de energía 10 ejemplar que incluye un generador de energía 12. El generador de energía 12 incluye una o más unidades de generación de energía 14. Las unidades de generación de energía 14 pueden incluir, por ejemplo, turbinas eólicas, celdas solares, pilas de combustible, generadores geotérmicos, generadores de energía hidroeléctrica y/u otros dispositivos que generan energía a partir de fuentes de energía renovables y/o no renovables. Aunque en el modo de realización ejemplar se muestran tres unidades de generación de energía 14, en otros modos de realización, el generador de energía 12 puede incluir cualquier número adecuado de unidades de generación de energía 14, incluyendo solo una unidad de generación de energía 14.

[0011] En el modo de realización ejemplar, el generador de energía 12 está acoplado a un convertidor de potencia 16, o un sistema de convertidor de potencia 16, que convierte una salida de potencia en corriente sustancialmente continua (CC) del generador de energía 12 en potencia en corriente alterna (CA). La potencia en CA se transmite a una red de distribución eléctrica 18, o "red". El convertidor de potencia 16, en el modo de realización ejemplar, ajusta una amplitud de la tensión y/o corriente de la potencia en CA convertida a una amplitud adecuada para la red de distribución eléctrica 18, y proporciona potencia en CA a una frecuencia y una fase que son sustancialmente iguales a la frecuencia y fase de la red de distribución eléctrica 18. Además, en el modo de realización ejemplar, el convertidor de potencia 16 proporciona potencia en CA trifásica a la red de distribución eléctrica 18. De forma alternativa, el convertidor de potencia 16 proporciona potencia en CA monofásica o cualquier otro número de fases de potencia en CA a la red de distribución eléctrica 18. Además, en algunos modos de realización, el sistema de generación de energía 10 puede incluir más de un convertidor de potencia 16. Por ejemplo, en algunos modos de realización, cada unidad de generación de energía se puede acoplar a un convertidor de potencia 16 separado.

[0012] En un modo de realización ejemplar, las unidades de generación de energía 14 incluyen paneles solares acoplados para formar una o más baterías solares para facilitar el funcionamiento del sistema de generación de energía 10 a una salida de potencia deseada. Cada unidad de generación de energía 14 puede ser un panel solar individual o una batería de paneles solares. En un modo de realización, el sistema de generación de energía 10 incluye una pluralidad de paneles solares y/o baterías solares acoplados entre sí en una configuración en serie-paralelo para facilitar la generación de una salida de corriente y/o tensión deseada desde el sistema de generación de energía 10. Los paneles solares incluyen, en un modo de realización, uno o más de un panel fotovoltaico, un colector solar térmico o cualquier otro dispositivo que convierta la energía solar en energía eléctrica. En el modo de realización ejemplar, cada panel solar es un panel fotovoltaico que genera una potencia en corriente sustancialmente continua como resultado de la energía solar que incide sobre los paneles solares. En el modo de realización ejemplar, la batería solar está acoplada al convertidor de potencia 16, o al sistema de convertidor de potencia 16, que convierte la potencia en CC en potencia en corriente alterna que se transmite a la red de distribución eléctrica 18.

[0013] En otros modos de realización, las unidades de generación de energía 14 incluyen una o más turbinas eólicas acopladas para facilitar el funcionamiento del sistema de generación de energía 10 a una salida de potencia deseada. Cada turbina eólica genera potencia en corriente sustancialmente continua. Las turbinas eólicas están acopladas al convertidor de potencia 16, o al sistema de convertidor de potencia 16, que convierte la potencia en CC en potencia en CA que se transmite a una red de distribución eléctrica 18, o "red". Los procedimientos y sistemas se describirán además en el presente documento con referencia a un sistema de generación de energía basado en turbinas eólicas de este tipo. Sin embargo, los procedimientos y sistemas descritos en el presente documento son aplicables a cualquier tipo de sistema de generación eléctrica, incluyendo, por ejemplo, pilas de combustible, generadores geotérmicos, generadores de energía hidroeléctrica y/u otros dispositivos que generan energía a partir de fuentes de energía renovables y/o no renovables.

[0014] La figura 2 es una vista en perspectiva de una turbina eólica 20 ejemplar que se puede usar en el sistema de generación de energía 10. La figura 3 es una vista en perspectiva en corte parcial de una parte de la turbina eólica 20. La turbina eólica 20 descrita y mostrada en el presente documento es un generador de turbina eólica para generar energía eléctrica a partir de energía eólica. Además, la turbina eólica 20 descrita e ilustrada en el presente documento incluye una configuración de eje horizontal. Sin embargo, en algunos modos de realización, la turbina eólica 20 puede incluir, además o como alternativa a la configuración de eje horizontal, una configuración de eje vertical (no mostrada). La turbina eólica 20 se puede acoplar a una carga eléctrica (no mostrada en la figura 2), tal como, pero sin limitarse a, una red eléctrica, para recibir energía eléctrica de la misma para accionar el funcionamiento de la turbina eólica 20 y/o sus componentes asociados y/o para suministrar energía eléctrica generada por la turbina eólica 20 a la misma. Aunque solo se muestra una turbina eólica 20 en las figuras 2 y 3, en algunos modos de realización, se puede agrupar una pluralidad de turbinas eólicas 20 entre sí, denominándose a veces "parque eólico".

[0015] La turbina eólica 20 incluye un cuerpo o góndola 22 y un rotor (designado, en general, por 24) acoplado a la góndola 22 para su rotación con respecto a la góndola 22 alrededor de un eje de rotación 26. En el modo de realización ejemplar, la góndola 22 está montada en una torre 28. Sin embargo, en algunos modos de realización, además o como alternativa a la góndola 22 montada en una torre, la góndola 22 se puede situar contigua al suelo y/o una superficie de agua. La altura de la torre 28 puede ser cualquier altura adecuada que posibilite que la turbina eólica 20 funcione como se describe en el presente documento. El rotor 24 incluye un buje 30 y una pluralidad de palas 32 (denominándose a veces "perfiles aerodinámicos") que se extienden radialmente hacia afuera desde el buje 30 para convertir energía eólica en energía de rotación. Aunque el rotor 24 se describe e ilustra en el presente documento como que tiene tres palas 32, el rotor 24 puede tener cualquier número de palas 32. Cada una de las palas 32 puede tener cualquier longitud que permita que la turbina eólica 20 funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, en algunos modos de realización, una o más palas de rotor 32 son de aproximadamente medio metro de largo, mientras que en algunos modos de realización una o más palas de rotor 32 son de aproximadamente cincuenta metros de largo. Otros ejemplos de longitudes de pala 32 incluyen diez metros o menos, aproximadamente veinte metros, aproximadamente treinta y siete metros y aproximadamente cuarenta metros. Todavía otros ejemplos incluyen palas de rotor de entre aproximadamente cincuenta y aproximadamente cien metros de largo, y palas de rotor mayores de cien metros de largo.

[0016] A pesar de cómo se ilustran las palas de rotor 32 en la figura 2, el rotor 24 puede tener palas 32 de cualquier conformación y puede tener palas 32 de cualquier tipo y/o configuración, ya sea si dicha conformación, tipo y/o configuración se describe y/o ilustra en el presente documento. Un ejemplo de otro tipo, conformación y/o configuración de palas 32 es una turbina eólica Darrieus, denominándose a veces turbina "batidora de huevos". Aún otro ejemplo de otro tipo, conformación y/o configuración de palas 32 es una turbina eólica Savonius. Además, la turbina eólica 20, en algunos modos de realización, puede ser una turbina eólica en la que el rotor 24, en general, esté orientado contra el viento para aprovechar la energía eólica, y/o puede ser una turbina eólica en la que el rotor 24, en general, esté orientado a favor del viento para aprovechar la energía. Por supuesto, en cualquiera de los modos de realización, el rotor 24 puede no estar orientado exactamente contra el viento y/o a favor del viento, pero puede estar orientado, en general, en cualquier ángulo (que puede ser variable) con respecto a una dirección del viento para aprovechar la energía del mismo.

[0017] En referencia ahora a la figura 3, la turbina eólica 20 incluye un generador eléctrico 34 acoplado al rotor 24 para generar energía eléctrica a partir de la energía de rotación generada por el rotor 24. El generador 34 puede ser cualquier tipo adecuado de generador eléctrico, tal como, pero sin limitarse a, un generador de inducción de rotor bobinado, un generador de inducción de doble alimentación (DFIG, también conocido como generadores asíncronos de doble alimentación), un generador síncrono de imán permanente (PM), un generador síncrono excitado eléctricamente y un generador de reluctancia conmutada. El generador 34 incluye un estator (no mostrado) y un rotor (no mostrado) con un espacio de aire incluido entre los mismos. El rotor 24 incluye un eje de rotor 36 acoplado al buje de rotor 30 para su rotación con el mismo. El generador 34 está acoplado al eje de rotor 36 de modo que la rotación del eje de rotor 36 accione la rotación del rotor de generador y, por lo tanto, el funcionamiento del generador 34. En el modo de realización ejemplar, el rotor de generador tiene un eje de generador 38 acoplado al mismo y acoplado al eje de rotor 36 de modo que la rotación del eje de rotor 36 accione la rotación del rotor de generador. En otros modos de realización, el rotor de generador está acoplado directamente al eje de rotor 36, denominándose a veces "turbina eólica de accionamiento directo". En el modo de realización ejemplar, el eje de generador 38 está acoplado al eje de rotor 36 a través de una caja de engranajes 40, aunque en otros modos de realización el eje de generador 38 está acoplado directamente al eje de rotor 36.

[0018] El momento de fuerza del rotor 24 acciona el rotor de generador para generar, de este modo, energía eléctrica en CA de frecuencia variable a partir de la rotación del rotor 24. El generador 34 tiene un momento de fuerza en el espacio de aire entre el rotor de generador y el estator que se opone al momento de fuerza del rotor 24. Un conjunto de conversión de potencia 42 está acoplado al generador 34 para convertir la CA de frecuencia variable en una CA de frecuencia fija para su suministro a una carga eléctrica (no mostrada en la figura 3), tal como, pero sin limitarse a, una red eléctrica (no mostrada en la figura 3), acoplada al generador 34. El conjunto de conversión de potencia 42 puede incluir un único convertidor de frecuencia o una pluralidad de convertidores de frecuencia configurados para convertir la electricidad generada por el generador 34 en electricidad adecuada para su suministro a través de la red eléctrica. El conjunto de conversión de potencia 42 también se puede denominar en el presente documento convertidor de potencia. El conjunto de conversión de potencia 42 se puede localizar en cualquier lugar dentro o alejado de la turbina eólica 20. Por ejemplo, el conjunto de conversión de potencia 42 se puede localizar dentro de una base (no mostrada) de la torre 28.

[0019] En el modo de realización ejemplar, la turbina eólica 20 incluye al menos un controlador de sistema 44 acoplado a al menos un componente de la turbina eólica 20 para, en general, controlar el funcionamiento de la turbina eólica 20 y/o controlar el funcionamiento de los componentes de la misma. Por ejemplo, el controlador de sistema 44 se puede configurar para controlar el funcionamiento del conjunto de conversión de potencia 42, un freno de disco 46, un sistema de guiñada 48 y/o un sistema de paso 50 de pala variable. El freno de disco 46 frena la rotación del rotor 24, por ejemplo, para ralentizar la rotación del rotor 24, el rotor de freno 24 frente al momento de fuerza del viento completo y/o reducir la generación de energía eléctrica del generador eléctrico 34. Sistema de guiñada 48 para rotar la góndola 22 alrededor de un eje de rotación 52 para cambiar una guiñada del rotor 24, y, más específicamente, para cambiar una dirección orientada por el rotor 24, por ejemplo, para ajustar un ángulo entre la dirección orientada por el rotor 24 y una dirección del viento.

[0020] Además, el sistema de paso 50 de pala variable controla, incluyendo, pero sin limitarse a cambiar, un ángulo de paso de las palas 32 (mostrado en las figuras 2-3) con respecto a la dirección del viento. El sistema de paso 50 se puede acoplar al controlador de sistema 44 para su control. El sistema de paso 50 está acoplado al buje 30 y palas 32 para cambiar el ángulo de paso de las palas 32 rotando las palas 32 con respecto al buje 30. Los accionadores de paso pueden incluir cualquier estructura, configuración, disposición, medios y/o componentes adecuados, ya sea descritos y/o mostrados en el presente documento, tales como, pero sin limitarse a, motores eléctricos, cilindros hidráulicos, resortes y/o servomecanismos. Además, los accionadores de paso se pueden accionar por cualquier medio adecuado, ya sea descrito y/o mostrado en el presente documento, tal como, pero sin limitarse a, fluido hidráulico, energía eléctrica, energía electroquímica y/o energía mecánica, tal como, pero sin limitarse a, fuerza de resorte.

[0021] La figura 4 es un diagrama de bloques de un modo de realización ejemplar de la turbina eólica 20. En el modo de realización ejemplar, la turbina eólica 20 incluye uno o más controladores de sistema 44 acoplados a al menos un componente de la turbina eólica 20 para, en general, controlar el funcionamiento de la turbina eólica 20 y/o controlar el funcionamiento de los componentes de la misma, independientemente de si dichos componentes se describen y/o muestran en el presente documento. Por ejemplo, en el modo de realización ejemplar, el controlador de sistema 44 está acoplado al sistema de paso 50 para, en general, controlar el rotor 24. En el modo de realización ejemplar, el controlador de sistema 44 está montado dentro de la góndola 22 (mostrado en la figura 3), sin embargo, adicionalmente o de forma alternativa, uno o más controladores de sistema 44 pueden estar alejados de la góndola 22 y/u otros componentes de la turbina eólica 20. Los controladores de sistema 44 se pueden usar para la monitorización y control del sistema global, incluyendo, sin limitación, la regulación del paso y velocidad, la aplicación del eje de alta velocidad y freno de guiñada, la aplicación del motor de guiñada y de bomba y/o la monitorización de fallos. En algunos modos de realización se pueden usar arquitecturas de control centralizadas o distribuidas alternativas.

[0022] En un modo de realización ejemplar, la turbina eólica 20 incluye una pluralidad de sensores, por ejemplo, los sensores 54, 56 y 58. Los sensores 54, 56 y 58 miden una variedad de parámetros que incluyen, sin limitación, las condiciones de funcionamiento y las condiciones atmosféricas. Cada sensor 54, 56 y 58 puede ser un sensor individual o puede incluir una pluralidad de sensores. Los sensores 54, 56 y 58 pueden ser cualquier sensor adecuado que tenga cualquier localización adecuada dentro o alejada de la turbina eólica 20 que permita que la turbina eólica 20 funcione como se describe en el presente documento. En algunos modos de realización, los sensores 54, 56 y 58 están acoplados al controlador de sistema 44 para transmitir mediciones al controlador de sistema 44 para el procesamiento de las mismas.

[0023] En algunos modos de realización, el controlador de sistema 44 incluye un bus 62 u otro dispositivo de comunicaciones para comunicar información. Uno o más procesadores 64 están acoplados al bus 62 para procesar información, incluyendo la información de los sensores 54, 56, 58 y/u otro(s) sensor(es). El/los procesador(es) 64 pueden incluir al menos un ordenador. Como se usa en el presente documento, el término "ordenador" no se limita a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como ordenador, sino que se refiere ampliamente a un procesador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables, y estos términos se usan de manera intercambiable en el presente documento.

[0024] El controlador de sistema 44 también puede incluir una o más memorias de acceso aleatorio 66 (RAM) y/u otro(s) dispositivo(s) de almacenamiento 68. La(s) RAM 66 y el/los dispositivo(s) de almacenamiento 68 están acoplados al bus 62 para almacenar y transferir información e instrucciones para ejecutarse por el/los procesador(es) 64. La(s) RAM 66 (y/o el/los dispositivo(s) de almacenamiento 68, si se incluyen) también se pueden usar para almacenar variables temporales u otra información intermedia durante la ejecución de instrucciones por el/los procesador(es) 64. El controlador de sistema 44 también puede incluir una o más memorias de solo lectura (ROM) 70 y/u otros dispositivos de almacenamiento estático acoplados al bus 62 para almacenar y proporcionar información e instrucciones estáticas (es decir, que no cambian) al/a los procesador(es) 64. El/los procesador(es) 64 procesan información transmitida desde una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, sin limitación, transductores de velocidad y potencia. Las instrucciones que se ejecutan incluyen, sin limitación, algoritmos residentes de conversión y/o de comparación. La ejecución de secuencias de instrucciones no se limita a ninguna combinación específica de circuitos de hardware e instrucciones de software.

[0025] El controlador de sistema 44 también puede incluir, o se puede acoplar a, dispositivo(s) de entrada/salida 72. El/los dispositivo(s) de entrada/salida 72 pueden incluir cualquier dispositivo conocido en la técnica para proporcionar datos de entrada al controlador de sistema 44 y/o para proporcionar salidas, tales como, pero sin limitarse a, salidas de control de guiñada y/o de control de paso. Se pueden proporcionar instrucciones a la RAM 66 desde el dispositivo de almacenamiento 68, que incluye, por ejemplo, un disco magnético, un circuito integrado de memoria de solo lectura (ROM), CD-ROM y/o DVD, por medio de una conexión remota que sea por cable o bien inalámbrica para proporcionar acceso a uno o más medios accesibles electrónicamente. En algunos modos de realización, se pueden usar circuitos con cableado permanente en lugar de o en combinación con instrucciones de software. Por tanto, la ejecución de secuencias de instrucciones no se limita a ninguna combinación específica de circuitos de hardware e instrucciones de software, ya sea descrita y/o mostrada en el presente documento. Además, en el modo de realización ejemplar, el/los dispositivo(s) de entrada/salida 72 pueden incluir, sin limitación, dispositivos periféricos informáticos asociados con una interfaz de operario, tal como un ratón y un teclado (ninguno se muestra en la figura 4). De forma alternativa, también se pueden usar otros dispositivos periféricos informáticos que pueden incluir, por ejemplo, un escáner (no mostrado en la figura 4). Además, en el modo de realización ejemplar, los canales de salida adicionales pueden incluir, por ejemplo, un monitor de interfaz de operario (no mostrado en la figura 4). El controlador de sistema 44 también puede incluir una interfaz de sensor 74 que permite que el controlador de sistema 44 se comuniquen con los sensores 54, 56, 58 y/u otro(s) sensor(es). La interfaz de sensor 74 puede incluir uno o más convertidores de analógico a digital que convierten las señales analógicas en señales digitales que se pueden usar por el/los procesador(es) 64.

[0026] En un modo de realización ejemplar, la turbina eólica 20 incluye un regulador de bucle enganchado en fase (o "lazo de seguimiento de fase", "phase locked loop", PLL) 80. El regulador de PLL 80 está acoplado al sensor 56. En el modo de realización ejemplar, el sensor 56 es un transductor de tensión configurado para medir una salida de tensión de red entre bornes por el conjunto de conversión de potencia 42. De forma alternativa, el regulador de PLL 80 está configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de tensión de una pluralidad de transductores de tensión. En un ejemplo de un generador trifásico, cada uno de los tres transductores de tensión está acoplado eléctricamente a cada una de las tres fases de un bus de red. El regulador de PLL 80 se puede configurar para recibir cualquier número de señales de medición de tensión de cualquier número de transductores de tensión que permitan que el regulador de PLL 80 funcione como se describe en el presente documento.

[0027] La figura 5 es un diagrama de bloques de un sistema de generación y suministro de energía 150 ejemplar. El sistema de generación y suministro de energía 150 se puede usar con, o incluir dentro de, la turbina eólica 20 (mostrada en las figuras 2 y 3). El sistema 150 incluye una fuente de energía, por ejemplo, el generador 34. Aunque se describe en el presente documento como generador de turbina eólica 34, la fuente de energía puede incluir

cualquier tipo de generador eléctrico que permita que el sistema 150 funcione como se describe en el presente documento, por ejemplo, un sistema de generación de energía solar. El sistema 150 también incluye un convertidor de potencia, tal como el conjunto de conversión de potencia 42. El conjunto de conversión de potencia 42 recibe energía eléctrica (Pv) 132 generada por el generador 34 y convierte la energía eléctrica 132 en una energía eléctrica (Pt) 134 (denominada en el presente documento energía entre bornes 134) adecuada para su transmisión a través de una red de transmisión y distribución de energía eléctrica 136 (denominada en el presente documento red de suministro 136). Una tensión entre bornes (Vt) 138 se define en un nudo entre el conjunto de conversión de potencia 42 y la red de suministro 136. Un sistema energético interconectado 140 está acoplado a la red de suministro 136. El sistema energético interconectado 140 incluye una pluralidad de cargas y/o fuentes de energía.

[0028] En el modo de realización ejemplar, el sistema 150 incluye un sistema de limitador de potencia dependiente de la red 152. En el modo de realización ejemplar, un controlador, por ejemplo, pero sin limitarse al controlador de sistema 44 (mostrado en la figura 4), está programado para realizar las funciones del sistema de limitador de potencia dependiente de la red 152. Sin embargo, en modos de realización alternativos, las funciones del sistema de limitador de potencia dependiente de la red 152 se pueden realizar por cualquier circuito configurado para permitir que el sistema 150 funcione como se describe en el presente documento. El sistema de limitador de potencia 152 está configurado para identificar la ocurrencia de un evento de contingencia de la red y proporcionar al conjunto de conversión de potencia 42 señales de control que facilitan la provisión de una recuperación estable del evento de la red. En general, tras la detección de un evento de contingencia de la red, el sistema de limitador de potencia 152 proporciona señales para reducir la salida de potencia del conjunto de conversión de potencia 42. Durante la recuperación del evento de contingencia de la red, el sistema de limitador de potencia 152 proporciona señales para incrementar la salida de potencia activa del conjunto de conversión de potencia 42. En algunos modos de realización, el sistema de limitador de potencia 152 proporciona una señal, o señales, para incrementar la salida de potencia activa del conjunto de conversión de potencia 42 gradualmente hasta que la potencia de salida del conjunto de conversión de potencia 42 se devuelve a su nivel previo al fallo.

[0029] En el modo de realización ejemplar, el sistema 150 también incluye un sistema de estabilizador 182 (mostrado en la figura 6) configurado para generar una señal de comando que se proporciona al controlador de interfaz de convertidor 156 y se usa para controlar el funcionamiento del convertidor de potencia 42. En el modo de realización ejemplar, un controlador, por ejemplo, pero sin limitarse al controlador de sistema 44 (mostrado en la figura 4), está programado para realizar las funciones del sistema de estabilizador 182. Sin embargo, en modos de realización alternativos, las funciones del sistema de estabilizador 182 se pueden realizar por cualquier circuito configurado para permitir que el sistema 150 funcione como se describe en el presente documento. Las oscilaciones dentro de una salida del convertidor de potencia 42 se reducen cuando el convertidor de potencia 42 se hace funcionar de acuerdo con las señales de control del controlador de interfaz de convertidor 156 que se basan al menos parcialmente en la señal de comando, por ejemplo, una señal de comando de corriente reactiva 192 y/o una señal de comando de corriente real 166.

[0030] En el modo de realización ejemplar, el sistema de estabilizador 182 incluye un regulador 184 y un estabilizador de regulador 186. En el modo de realización ejemplar, el regulador 184 es un regulador de tensión configurado para generar un comando de potencia reactiva, por ejemplo, la señal de comando de corriente reactiva 192. El estabilizador de regulador 186 está configurado para generar una señal de estabilización de regulador 188 que estabiliza el regulador 184 a medida que el sistema 150 se recupera de un evento de contingencia de la red. Por ejemplo, el estabilizador de regulador 186 puede generar una señal de estabilización de regulador de tensión y/o una señal de estabilización de regulador de potencia. En determinados modos de realización, el conjunto de conversión de potencia 42 responde de acuerdo con las señales proporcionadas por el sistema de estabilizador 182 y reduce las oscilaciones del sistema que se pueden producir durante la recuperación del evento de la red.

[0031] Un evento de la red, también denominado en el presente documento evento de contingencia de la red, puede dejar la red de suministro 136 en un modo degradado donde la impedancia de red sea alta. Un ejemplo de un evento de la red incluye un fallo de cortocircuito en una de las líneas de transmisión dentro de la red de suministro 136. Las acciones de protección de transmisión eléctrica eliminan la parte con fallo de la red de suministro 136 para permitir el funcionamiento de la parte sin fallo restante de la red de suministro 136. Queda una ruta de transmisión que se degrada en su capacidad de transmitir energía desde el sistema 150 al sistema energético interconectado 140. Dichos eventos de la red provocan un breve periodo de baja tensión en la red de suministro 136 antes de eliminar la parte con fallo de la red de suministro 136. Típicamente, la tensión entre bornes 138 se degradará significativamente en el momento del evento de la red. La alta impedancia de red, después de la eliminación del fallo puede dar como resultado una respuesta oscilatoria de los reguladores dentro del generador (por ejemplo, el regulador de potencia 204 y/o regulador de tensión 184). Estas oscilaciones están típicamente en un intervalo de frecuencias de aproximadamente 10 hercios (Hz) a 30 Hz y, en algunos casos, se pueden volver inestables si no se tienen en cuenta apropiadamente por el sistema 150.

[0032] Como se muestra en la figura 5, en el modo de realización ejemplar, el conjunto de conversión de potencia 42 está configurado para recibir señales de control 154 de un controlador de interfaz de convertidor 156. Las señales de control 154 se basan en condiciones de funcionamiento detectadas o las características de funcionamiento de la turbina eólica 20 como se describe en el presente documento y se usan para controlar el

funcionamiento del conjunto de conversión de potencia 42. Los ejemplos de condiciones de funcionamiento medidas pueden incluir, pero no se limitan a, una tensión de red entre bornes, un error de PLL, una tensión de bus de estator, una tensión de bus de rotor y/o una corriente. Por ejemplo, el sensor 56 (mostrado en la figura 4) mide la tensión de red entre bornes 138 y transmite una señal de realimentación de tensión entre bornes 160 a un regulador de tensión 184 y sistema de limitador de potencia 152. Además, el regulador de PLL 80 (mostrado en la figura 4) puede generar una señal de error de PLL 190 y transmitir la señal 190 al sistema de estabilizador 182 y al sistema de limitador de potencia 152.

[0033] En el modo de realización ejemplar, el estabilizador de regulador de tensión 186 genera, en base a al menos parcialmente la señal de error de PLL 190, la señal de estabilización de regulador de tensión 188 y transmite la señal de estabilización de regulador de tensión 188 al regulador de tensión 184. El regulador de tensión 184 genera una señal de comando de corriente reactiva 192, en base a al menos parcialmente la señal de estabilización de regulador de tensión 188, y transmite la señal de comando de corriente reactiva 192 al controlador de interfaz de convertidor 156. En algunos modos de realización, el sistema de limitador de potencia 152 también recibe la señal de realimentación de tensión entre bornes 160 y genera una señal de comando de potencia, por ejemplo, señal de comando de corriente real 166 en base a al menos parcialmente la señal de error de PLL 190 y la señal de realimentación de tensión entre bornes 160. Después de un evento de contingencia de la red, la señal de error de PLL 190 puede oscilar a medida que el sistema 150 incrementa gradualmente una salida de potencia activa del conjunto de conversión de potencia 42. En otras palabras, las oscilaciones dentro de la señal de error de PLL 190 son indicativas de oscilaciones del sistema. El estabilizador de regulador de tensión 186 aplica una función de transferencia a la señal de error de PLL 190 oscilante, que genera la señal de estabilización de regulador de tensión 188. Este bucle de realimentación está configurado para reducir las oscilaciones del sistema.

[0034] Más específicamente, las oscilaciones del sistema que se producen después de un evento de contingencia de la red se identifican por oscilaciones en la señal de error de PLL 190, la señal de error de PLL 190 se proporciona al estabilizador de regulador de tensión 186, el estabilizador de regulador de tensión 186 genera la señal de estabilización de regulador de tensión 188 y la señal de estabilización de regulador de tensión 188 se proporciona al regulador de tensión 184. La señal de estabilización de regulador de tensión 188 provoca que la señal de comando de corriente reactiva 192 oscile de una manera que reduzca y/o cancele las oscilaciones del sistema. El regulador de tensión 184 transmite la señal de comando de corriente reactiva 192 al controlador de interfaz de convertidor 156. En un modo de realización alternativo, el controlador de interfaz de convertidor 156 está incluido dentro del controlador de sistema 44. Otra realimentación de condición de funcionamiento de otros sensores también se puede usar por el controlador 44 y/o controlador de interfaz de convertidor 156 para controlar el conjunto de conversión de potencia 42.

[0035] La figura 6 es un diagrama de bloques de un sistema de control de convertidor 200 ejemplar configurado para generar señales de control proporcionadas a un convertidor de potencia, por ejemplo, el conjunto de conversión de potencia 42 (mostrado en la figura 5), para el control del conjunto de conversión de potencia 42. En el modo de realización ejemplar, el sistema de control de convertidor 200 incluye el sistema de limitador de potencia 152, sistema de estabilizador 182 y controlador de interfaz de convertidor 156. En el modo de realización ejemplar, el sistema de limitador de potencia 152 incluye un limitador de potencia 202 y un regulador de potencia 204 y genera una señal de comando de potencia, por ejemplo, una señal de comando de corriente real 166. En el modo de realización ejemplar, el limitador de potencia 180 recibe al menos una condición de funcionamiento medida del sistema 150. La al menos una condición de funcionamiento medida puede incluir, pero no se limita a, una señal de error de PLL 190 del regulador de PLL 80 y una señal de realimentación de tensión de red entre bornes 160 del sensor 54. El limitador de potencia 180 también recibe una señal de control de potencia de referencia almacenada 194, por ejemplo, del controlador de sistema 44 (mostrado en la figura 3). En algunos modos de realización, el limitador de potencia 180 recibe la señal de realimentación de tensión de red entre bornes 160 y la señal de control de potencia de referencia almacenada 194. En otros modos de realización, el limitador de potencia 180 recibe la señal de error de PLL 190 y la señal de control de potencia de referencia almacenada 194. En otros modos de realización, el limitador de potencia 180 recibe tanto la señal de error de PLL 190 como la señal de realimentación de tensión de red entre bornes 160, así como la señal de control de potencia de referencia almacenada 194. En el modo de realización ejemplar, el limitador de potencia 180 genera una señal de comando de potencia 206 y transmite la señal de comando de potencia 206 al regulador de potencia 204. El regulador de potencia 204 genera la señal de comando de corriente real 166 y transmite la señal de comando de corriente real 166 al controlador de interfaz de convertidor 156. El controlador de interfaz de convertidor 156 también se puede denominar en el presente documento control de activación de convertidor. Como se describe anteriormente, el regulador de PLL 80 se puede incluir dentro del controlador de sistema 44, o se puede acoplar a, pero separado, del controlador de sistema 44.

[0036] En el modo de realización ejemplar, el regulador de PLL 80 recibe la señal de realimentación de tensión entre bornes 160. Por ejemplo, el regulador de PLL 80 puede recibir la señal de realimentación de tensión entre bornes 160 (mostrada en la figura 3 como V_t) proporcionada por el sensor 54 (mostrado en la figura 3). Como se describe anteriormente, el regulador de PLL 80 genera la señal de error de PLL 190 y una señal de ángulo de fase de PLL 208. La señal de ángulo de fase de PLL 208 se transmite al controlador de interfaz de convertidor 156 para el control del conjunto de conversión de potencia 42 y para el control posterior de las corrientes eléctricas

alimentadas en la red de suministro 136 (mostrada en la figura 4).

[0037] En el modo de realización ejemplar, el estabilizador de regulador de tensión 186 también recibe la señal de error de PLL 190. Además, en el modo de realización ejemplar, el estabilizador de regulador de tensión 186 aplica una función de transferencia predefinida a la señal de error de PLL 190 para generar la señal de estabilización de regulador de tensión 188. La señal de estabilización de regulador de tensión 188 se aplica al regulador de tensión 184, que combina la señal 188 con la señal de realimentación de tensión 160 para generar la señal de comando de corriente reactiva 192. Las oscilaciones dentro de la señal de error de PLL 190 proporcionan una indicación de oscilaciones del sistema que se pueden producir después de un evento de contingencia de la red. Más específicamente, las oscilaciones dentro de la señal de error de PLL 190 corresponden a oscilaciones del sistema, por ejemplo, oscilaciones dentro de la tensión entre bornes 138 (mostrada en la figura 5) y/u oscilaciones dentro de la potencia de salida 134 (mostrada en la figura 5). La determinación de la señal de comando de corriente reactiva 192 basada parcialmente en la señal de error de PLL 190 facilita la reducción de las oscilaciones del sistema.

[0038] Un ejemplo de la función de transferencia aplicada por el estabilizador de regulador de tensión 186 aísla un intervalo de frecuencias dentro de la señal de error de PLL 190 que incluye una indicación de oscilaciones del regulador (por ejemplo, un filtro de paso de banda entre 10 Hz y 30 Hz), y aplica una ganancia seleccionada para provocar que las oscilaciones del regulador se amortigüen de forma positiva. La función de transferencia se puede determinar en base a, por ejemplo, cálculos, simulaciones y/o pruebas donde el estabilizador de regulador de tensión 186 aplica diversas señales de estabilización de regulador de tensión 188 al regulador de tensión 184. La función de transferencia puede incluir componentes lineales, por ejemplo, filtrado de paso de banda y ganancia, y también puede incluir cualquier componente no lineal, por ejemplo, pero sin limitarse a, limitadores y bandas muertas, que permiten que el sistema 150, junto con la red eléctrica 136, funcione como se describe en el presente documento. Más específicamente, el estabilizador de regulador de tensión 186 puede aplicar funciones de transferencia lineales y/o no lineales a la señal de error de PLL 190 para generar una señal de estabilización de regulador de tensión 188 que amortigua las oscilaciones del sistema.

[0039] El regulador de tensión 184 recibe la señal de estabilización de regulador de tensión 188 y genera la señal de comando de corriente reactiva 192. La señal de comando de corriente reactiva 192 se proporciona al controlador de interfaz de convertidor 156, que controla el funcionamiento del conjunto de conversión de potencia 42 de acuerdo con la señal de comando de corriente reactiva 192.

[0040] La figura 7 es un diagrama de bloques de un regulador de tensión ejemplar, por ejemplo, el regulador de tensión 184 (mostrado en la figura 6) y un estabilizador de regulador de tensión ejemplar, por ejemplo, el estabilizador de regulador de tensión 186 (mostrado en la figura 6). Como se describe anteriormente con respecto a la figura 6, en el caso de una contingencia de la red, tal como una red débil, la salida de potencia del conjunto de conversión 42 puede oscilar. El estabilizador de regulador de tensión 186 recibe la señal de error de PLL 190 y genera la señal de estabilización de regulador de tensión 188.

[0041] El regulador de tensión 184 genera una señal de comando de corriente reactiva 192 en base a la señal de estabilización de regulador de tensión 188 y la señal de realimentación de tensión 160 y envía la señal de comando de corriente reactiva 192 al controlador de interfaz de convertidor 156. La señal de comando de corriente reactiva 192 da instrucciones al controlador de interfaz de convertidor 156 para que alimente corriente en la red de suministro 136 que incluye un componente reactivo configurado para amortiguar las oscilaciones de salida de potencia. La amortiguación de las oscilaciones de salida de potencia incrementa la estabilidad de la red 136 y el sistema de generación y suministro de energía 150.

[0042] En el modo de realización ejemplar, el regulador de tensión 184 recibe la señal de estabilizador de tensión 188 del estabilizador de regulador de tensión 186, recibe la señal de realimentación de tensión entre bornes 160 y recibe una señal de comando de tensión de referencia (VREF) 240 de al menos un regulador de voltamperio reactivo (VAR) 242. VREF 240 también se denomina en el presente documento tensión de referencia. Tras la detección de un evento de contingencia de la red, el sistema de limitador de potencia 152 transmite la señal de comando de corriente real 166 (mostrada en la figura 6) al controlador de interfaz de convertidor 156 para reducir la potencia de salida del conjunto de conversión de potencia 42. Una vez que se completa el evento de contingencia de la red, el sistema de limitador de potencia 152 genera señales, por ejemplo, una señal de comando de corriente real 166, que ordenan un incremento gradual en la salida de potencia del conjunto de conversión de potencia 42. Durante el evento de contingencia de la red, por ejemplo, la tensión entre bornes 138 indica la ocurrencia de un evento de contingencia de la red, el regulador de tensión 184 genera una señal de comando de corriente reactiva 192 que incrementa la salida de corriente reactiva por el conjunto de conversión de potencia 42 para soportar la tensión de red entre bornes 138 hasta que el evento de contingencia de la red esté resuelto. En la resolución del evento de contingencia de la red, la señal de comando de corriente reactiva 192 vuelve a un menor nivel, lo que provoca que la salida de corriente reactiva del conjunto de conversión de potencia 42 disminuya a aproximadamente el nivel de salida de corriente reactiva del conjunto de conversión de potencia 42 antes del evento de contingencia de la red. A medida que la potencia de salida del conjunto de conversión de potencia 42 se incrementa durante la recuperación del evento de contingencia de la red, se puede necesitar una corriente

reactiva adicional para mantener la tensión entre bornes 138 y evitar el colapso de tensión de la red de suministro 136.

5 **[0043]** Para facilitar la reducción de las oscilaciones en la potencia de salida del conjunto de conversión 42, el estabilizador de regulador de tensión 186 genera la señal de estabilización de regulador de tensión 188 y transmite la señal de estabilización de regulador de tensión 188 al regulador de tensión 184. La señal de estabilización de regulador de tensión 188 se añade a la señal de comando de tensión de referencia 240. De ahí que el regulador de tensión 184 genere una señal de comando de corriente reactiva 192 que incluye un componente de corriente reactiva configurado para cancelar las oscilaciones en la salida de potencia por el conjunto de conversión de potencia 42. El regulador de tensión 184 suma la señal de estabilización de regulador de tensión 188 y la señal de comando de tensión de referencia 240 y resta la señal de realimentación de tensión entre bornes 160 para producir una señal de error. Un bloque de control 246 recibe la señal de error y genera la señal de comando de corriente reactiva 192.

15 **[0044]** La figura 8 es un diagrama de bloques de un modo de realización alternativo del sistema de control de convertidor 200 (mostrado en la figura 6) e identificado en el presente documento como sistema de control de convertidor 220. El sistema de control de convertidor 220 está configurado para generar señales de control proporcionadas a un convertidor de potencia, por ejemplo, el conjunto de conversión de potencia 42 (mostrado en la figura 5), para el control del conjunto de conversión de potencia 42. En el modo de realización alternativo, el sistema de estabilizador 182 incluye un regulador de potencia 204 que está configurado para generar un comando de potencia activa, por ejemplo, una señal de comando de corriente real 166. En el modo de realización alternativo, el estabilizador de regulador 186 es un estabilizador de regulador de potencia configurado para generar la señal de estabilización 188, que es, más específicamente, una señal de estabilización de potencia. La señal de estabilización de potencia 188 se proporciona al regulador de potencia 204, que genera señales de control en base a al menos parcialmente la señal 188. Las señales de control, por ejemplo, la señal de comando de corriente real 166, se proporcionan al controlador de interfaz de convertidor 156. En el modo de realización alternativo, el sistema de control de convertidor 220 incluye el sistema de limitador de potencia 152, sistema de estabilizador 182 y controlador de interfaz de convertidor 156.

30 **[0045]** Las figuras 9-18 son vistas gráficas que ilustran el funcionamiento de un sistema de generación y suministro de energía después de un evento de contingencia de la red. Más específicamente, las figuras 9-13 ilustran el funcionamiento de un sistema de generación y suministro de energía que no incluye un estabilizador de regulador, por ejemplo, el estabilizador de regulador 186 (mostrado en la figura 6). En cambio, las figuras 14-18 ilustran el funcionamiento de un sistema de generación y suministro de energía, por ejemplo, el sistema de generación y suministro de energía 150 (mostrado en la figura 5), que incluye el estabilizador de regulador 186. Las mediciones ejemplares ilustradas en las figuras 9-18 se obtuvieron a través de experimentación y/o cálculo y se incluyen para ilustrar el efecto del funcionamiento del estabilizador de regulador 186 en el sistema de generación y suministro de energía 150.

40 **[0046]** Las figuras 9 y 14 son vistas gráficas de la señal de error 190 de PLL frente al tiempo. Como se describe anteriormente, después de un evento de contingencia de la red, las oscilaciones del sistema que surgen del funcionamiento del regulador de tensión 184 (mostrado en la figura 6) se miden y son aparentes en la señal de error de PLL 190 (véase la figura 9). La figura 14 ilustra la reducción de las oscilaciones del sistema, como se muestra por la reducción de las oscilaciones de la señal de error de PLL 190.

45 **[0047]** Las figuras 10 y 15 son vistas gráficas de una suma 250 de la señal de comando de tensión de referencia 240 y la señal de estabilización de regulador de tensión 188 (ambas mostradas en la figura 7) frente al tiempo. Como se ilustra en la figura 10, sin el estabilizador de regulador de tensión 186, no se proporciona ninguna señal de estabilización de regulador de tensión 188 al regulador de tensión 184. Por lo tanto, la suma 250 de la señal de comando de tensión de referencia 240 y la señal de estabilización de regulador de tensión 188 es igual a la señal de comando de tensión de referencia 240, que, en el ejemplo ilustrado, es constante con el tiempo.

50 **[0048]** Como se muestra en la figura 15, la suma 250 de la señal de comando de tensión de referencia 240 y la señal de estabilización de regulador de tensión 188 varía con el tiempo. La señal de comando de tensión de referencia 240 permanece constante, sin embargo, la señal de estabilización de regulador de tensión 188 varía con el tiempo.

55 **[0049]** Las figuras 11 y 16 son vistas gráficas de la señal de realimentación de tensión entre bornes 160 (mostrada en la figura 7) frente al tiempo. En el ejemplo ilustrado, la oscilación de la señal de realimentación de tensión entre bornes 160 es un ejemplo de una oscilación del sistema que se produce, por ejemplo, mientras el sistema 150 se recupera de un evento de contingencia de la red. La figura 11 ilustra una oscilación del sistema (por ejemplo, oscilaciones de la señal de realimentación de tensión entre bornes 160) que se incrementa con el tiempo. La figura 16 ilustra la reducción de las oscilaciones del sistema (por ejemplo, reducción de las oscilaciones de la señal de realimentación de tensión entre bornes 160), provocada por el funcionamiento del estabilizador de regulador de tensión 186. Más específicamente, la figura 16 ilustra cómo la aplicación de la suma 250 (mostrada en la figura 15) al funcionamiento del regulador de tensión 184 amortigua las oscilaciones de la señal de

realimentación de tensión entre bornes 160.

[0050] Las figuras 12 y 13 son vistas gráficas de la energía eléctrica 134 (mostrada en la figura 5) frente al tiempo en un sistema de generación y suministro de energía que no incluye el estabilizador de regulador de tensión 186. Más específicamente, la figura 12 ilustra un componente de potencia reactiva de energía eléctrica 134 y la figura 13 ilustra un componente de potencia activa de energía eléctrica 134. Las oscilaciones de la energía eléctrica 134 ilustradas en las figuras 12 y 13 son otro ejemplo de oscilaciones del sistema que se pueden producir mientras el sistema 150 se recupera de un evento de contingencia de la red.

[0051] Las figuras 17 y 18 son vistas gráficas de la energía eléctrica 134 (mostrada en la figura 5) frente al tiempo en un sistema de generación de energía que incluye un estabilizador de regulador de tensión, por ejemplo, un sistema de generación de energía 150 que incluye un estabilizador de regulador de tensión 186. Las figuras 17 y 18 ilustran la reducción de las oscilaciones del sistema, más específicamente, la reducción de las oscilaciones de la energía eléctrica 134, provocada por el funcionamiento del estabilizador de regulador de tensión 186.

[0052] La figura 19 es un diagrama de flujo 260 de un procedimiento ejemplar 270 para controlar un sistema de generación y suministro de energía, por ejemplo, el sistema de generación y suministro de energía 150 (mostrado en la figura 5). En el modo de realización ejemplar, el sistema de generación y suministro de energía 150 incluye un generador eléctrico, por ejemplo, el generador eléctrico 34 (mostrado en la figura 5), un convertidor de potencia, por ejemplo, el conjunto de conversión de potencia 42 (mostrado en la figura 5) y un controlador de sistema, por ejemplo, el controlador de sistema 44 (mostrado en la figura 4).

[0053] En el modo de realización ejemplar, el procedimiento 270 incluye monitorizar 272 un parámetro de salida del sistema de generación y suministro de energía 150 que sea indicativo de oscilaciones del sistema. Por ejemplo, un regulador de PLL, por ejemplo, el regulador de PLL 80 (mostrado en la figura 4), puede monitorizar 272 un error de PLL y generar una señal de error de PLL, por ejemplo, la señal de error de PLL 190. El parámetro de salida también puede incluir, pero no se limita a, una señal de realimentación de tensión, por ejemplo, la señal de realimentación de tensión 160 (mostrada en la figura 5). Como se describe anteriormente, las oscilaciones dentro de la señal de error de PLL 190 son indicativas de oscilaciones del sistema.

[0054] En el modo de realización ejemplar, el procedimiento 270 también incluye generar 276 una señal de comando, por ejemplo, una señal de comando de corriente reactiva 192 (mostrada en la figura 5) y/o señal de comando de corriente real 166 (mostrada en la figura 5) en base a al menos parcialmente el parámetro de salida. Por ejemplo, el controlador de sistema 44 puede generar 276 la señal de comando aplicando una función de transferencia a la señal de error de PLL 190 para generar una señal de estabilización de regulador de tensión, por ejemplo, la señal de estabilización de regulador de tensión 188 (mostrada en la figura 6). Un regulador de tensión, por ejemplo, el regulador de tensión 184 (mostrado en la figura 6) está configurado para generar la señal de comando 192 en base a al menos parcialmente la señal de estabilización de regulador de tensión 188. En un modo de realización alternativo, el controlador de sistema 44 puede generar 276 la señal de comando aplicando una función de transferencia a la señal de error de PLL 190 para generar una señal de estabilización de regulador de potencia, por ejemplo, la señal de estabilización de regulador de potencia 188 (mostrada en la figura 8). Un regulador de potencia, por ejemplo, el regulador de potencia 204 (mostrado en la figura 8) está configurado para generar la señal de comando 166 en base a al menos parcialmente la señal de estabilización de regulador de potencia 188.

[0055] Más específicamente, generar 276 la señal de comando 192 puede incluir sumar la señal de estabilización de regulador de tensión 188, una señal de comando de tensión de referencia, por ejemplo, la señal de comando de tensión de referencia 240 (mostrada en la figura 7), y una inversa de la señal de realimentación de tensión entre bornes 160 (mostrada en figura 7). Además, aplicar la función de transferencia puede incluir aplicar una función de transferencia predefinida a la señal de error de PLL 190 que aísla un intervalo de frecuencias dentro de la señal de error de PLL 190 que incluye una indicación de las oscilaciones del sistema. Aplicar la función de transferencia también puede incluir aplicar una ganancia predefinida a la señal de error de PLL 190 para amortiguar de forma positiva las oscilaciones del sistema.

[0056] En el modo de realización ejemplar, el procedimiento 270 también incluye controlar 278 el funcionamiento del convertidor de potencia 42 en base a al menos parcialmente la señal de comando de corriente reactiva 192 y/o la señal de comando de corriente real 166 para reducir las oscilaciones del sistema.

[0057] Los modos de realización descritos anteriormente pueden facilitar el funcionamiento eficaz y rentable de una turbina eólica. La turbina eólica incluye un sistema de estabilizador de regulador de tensión que genera una señal de estabilización de regulador de tensión en base a al menos parcialmente un error de PLL medido. La señal de estabilización de regulador de tensión se proporciona a un regulador de tensión que determina un comando de corriente reactiva en base a al menos parcialmente la señal de estabilización de regulador de tensión. El control de la salida de corriente reactiva como una función del error de PLL facilita la reducción de las oscilaciones del sistema que se pueden producir durante la recuperación de un evento de contingencia de la red. El procedimiento y los sistemas descritos en el presente documento facilitan el incremento de la estabilidad del regulador de tensión

5 y, además, la estabilidad en la salida de tensión y/o de potencia por la turbina eólica después de un evento de contingencia de la red. Los modos de realización ejemplares de una turbina eólica, sistema de estabilizador de regulador de tensión y procedimientos para hacer funcionar una turbina eólica en respuesta a una ocurrencia de un evento de contingencia de la red se describen anteriormente en detalle. Los procedimientos, turbina eólica y sistema de estabilizador de regulador de tensión no se limitan a los modos de realización específicos descritos en el presente documento, sino que, más bien, los componentes de la turbina eólica, los componentes del sistema de estabilizador de regulador de tensión y/o etapas de los procedimientos se pueden utilizar independientemente y por separado de otros componentes y/o etapas descritos en el presente documento. Por ejemplo, también se pueden usar el sistema de estabilizador de regulador de tensión y los procedimientos en combinación con otros sistemas energéticos de turbina eólica y procedimientos, y no se limitan a ponerse en práctica solo con el sistema energético como se describe en el presente documento. Más bien, el modo de realización ejemplar se puede implementar y utilizar en relación con muchas otras aplicaciones de turbina eólica o sistema energético.

10

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un sistema de estabilizador (182) asociado con un controlador de convertidor de potencia (44) y que está configurado para acoplarse a un controlador de interfaz de convertidor (156), comprendiendo el sistema de estabilizador (182):
- 10 un regulador (184, 204) acoplado al controlador de interfaz de convertidor (156) y configurado para generar una primera señal de comando (192, 166) y transmitir la primera señal de comando (192, 166) al controlador de interfaz de convertidor,
- 15 un estabilizador de regulador (186) configurado para recibir una señal de error de bucle enganchado en fase (PLL) (190) y para generar una señal de estabilización de regulador (188) en base a al menos parcialmente la señal de error de PLL, en el que la señal de error de PLL (190) es indicativa de oscilaciones del sistema, y **caracterizado por que**
- 20 el regulador (184, 204) está acoplado a dicho estabilizador de regulador (186), estando dicho regulador (184, 204) configurado para:
- recibir la señal de estabilización de regulador (188); y
- generar la primera señal de comando (192, 166), en base a al menos parcialmente la señal de estabilización de regulador (188), que reduce las oscilaciones del sistema.
- 25 2. Un sistema (182) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho estabilizador de regulador (186) está configurado además para aplicar una función de transferencia predefinida a la señal de error de PLL (190), en el que la señal de estabilización de regulador (188) es una salida de la función de transferencia predefinida, y en el que la función de transferencia predefinida aísla un intervalo de frecuencias dentro de la señal de error de PLL (190) que incluye una indicación de oscilaciones del sistema y aplica una ganancia para amortiguar de forma positiva las oscilaciones del sistema.
- 30 3. Un sistema (182) de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que las oscilaciones dentro de la señal de error de PLL (190) corresponden a oscilaciones del sistema que incluyen al menos una de las oscilaciones de una tensión entre bornes (138) en una salida de un convertidor de potencia (42) asociado con un controlador de convertidor de potencia (44) y energía eléctrica (134) generada por el convertidor de potencia, y en el que las oscilaciones del sistema corresponden a la inestabilidad del sistema.
- 35 4. Un sistema (182) de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que la primera señal de comando (192, 166), cuando se proporciona al controlador de interfaz de convertidor (156) y se usa para controlar el funcionamiento del convertidor de potencia (42), amortigua las oscilaciones del sistema.
- 40 5. Un sistema (182) de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que dicho regulador (184, 204) comprende al menos uno de un regulador de tensión (184) y un regulador de potencia (204), y en el que la primera señal de comando (192, 166) comprende al menos una de una señal de comando de corriente reactiva (192) generada por dicho regulador de tensión y una señal de comando de corriente real (166) generada por dicho regulador de potencia.
- 45 6. Un controlador de convertidor (200, 220) para controlar el funcionamiento de un conjunto de conversión de potencia (42), comprendiendo dicho controlador de convertidor:
- 50 un sistema de estabilizador (182) como se define en cualquiera de las reivindicaciones precedentes; y
- un controlador de interfaz de convertidor (156) acoplado en comunicación a dicho sistema de estabilizador (182) y configurado para generar señales de control en base a al menos parcialmente la primera señal de comando y transmitir las señales de control al conjunto de conversión de potencia (42).
- 55 7. Un controlador de convertidor (200, 220) de acuerdo con la reivindicación 6, en el que las oscilaciones del sistema incluyen al menos una de las oscilaciones de la tensión entre bornes (138) y/o energía eléctrica (134) generadas por el conjunto de conversión de potencia (42), y en el que las oscilaciones del sistema corresponden a la inestabilidad del sistema.
- 60 8. Un controlador de convertidor (200, 220) de acuerdo con la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que dicho sistema de estabilizador (182) comprende:
- 65 un estabilizador de regulador (186) configurado para recibir la señal de error de PLL (190) y generar una señal de estabilización de regulador (188); y

un regulador (184, 204) acoplado a dicho estabilizador de regulador y configurado para recibir la señal de estabilización de regulador, generar la primera señal de comando (192, 166), en base a al menos parcialmente la señal de estabilización de regulador, y proporcionar la primera señal de comando a dicho controlador de interfaz de convertidor (156).

5

9. Un controlador de convertidor (200, 220) de acuerdo con la reivindicación 8, en el que dicho regulador (184, 204) comprende al menos uno de un regulador de tensión (184) y un regulador de potencia (204), y en el que la primera señal de comando comprende al menos una de una señal de comando de corriente reactiva (192) generada por dicho regulador de tensión y una señal de comando de corriente real (166) generada por dicho regulador de potencia (204).

10

10. Un controlador de convertidor (200, 220) de acuerdo con la reivindicación 8 o la reivindicación 9, en el que dicho estabilizador de regulador (186) está configurado para aplicar una función de transferencia predefinida a la señal de error de PLL (190), en el que la señal de estabilización de regulador (188) es una salida de la función de transferencia predefinida, en el que la función de transferencia predefinida aísla un intervalo de frecuencias dentro de la señal de error de PLL que incluye una indicación de oscilaciones del sistema y aplica una ganancia para amortiguar de forma positiva las oscilaciones del sistema.

15

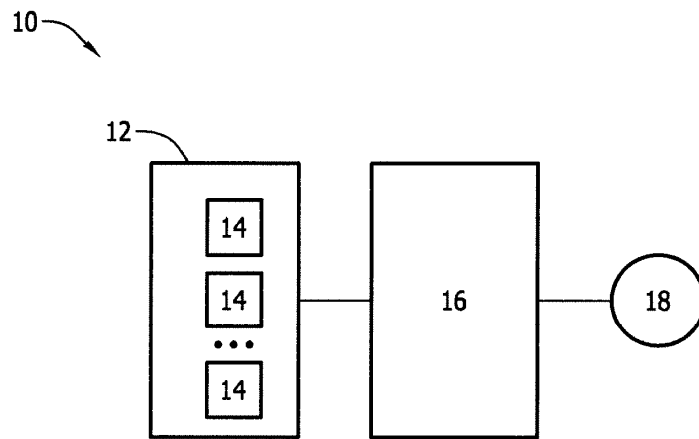


FIG. 1

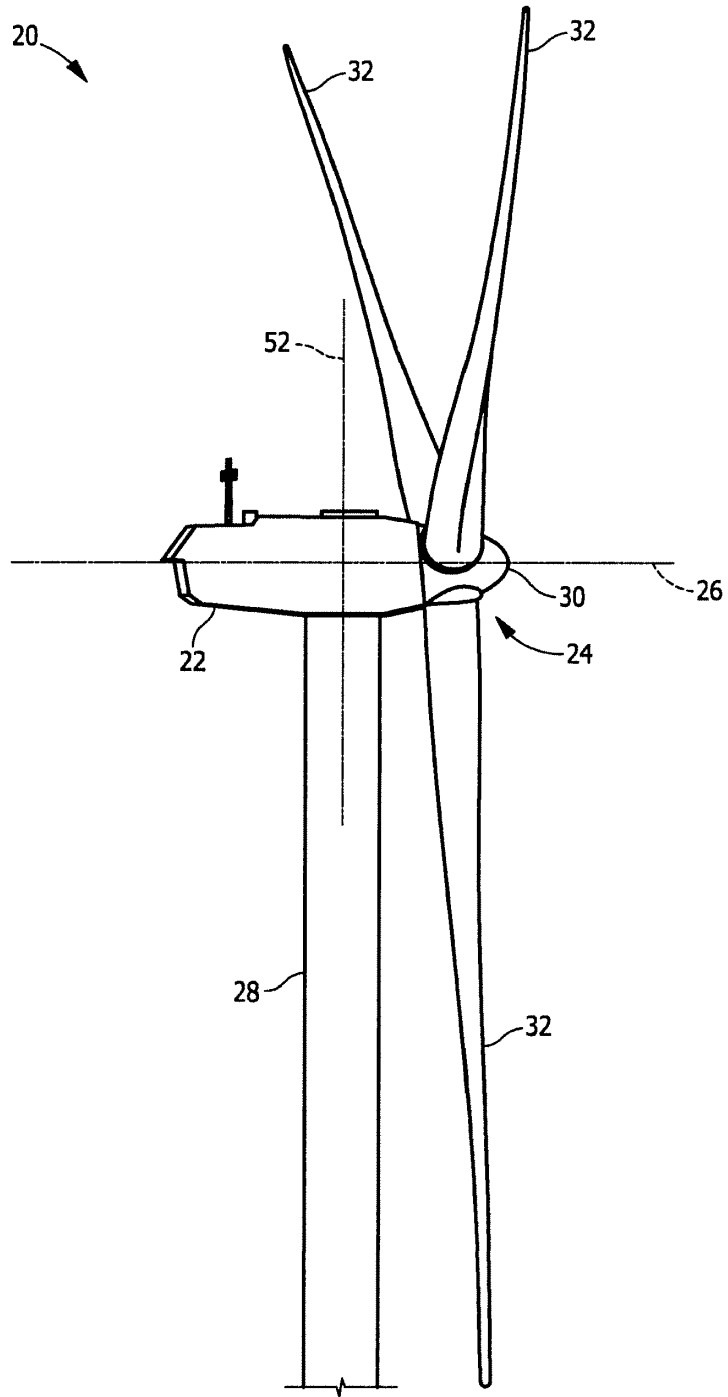


FIG. 2

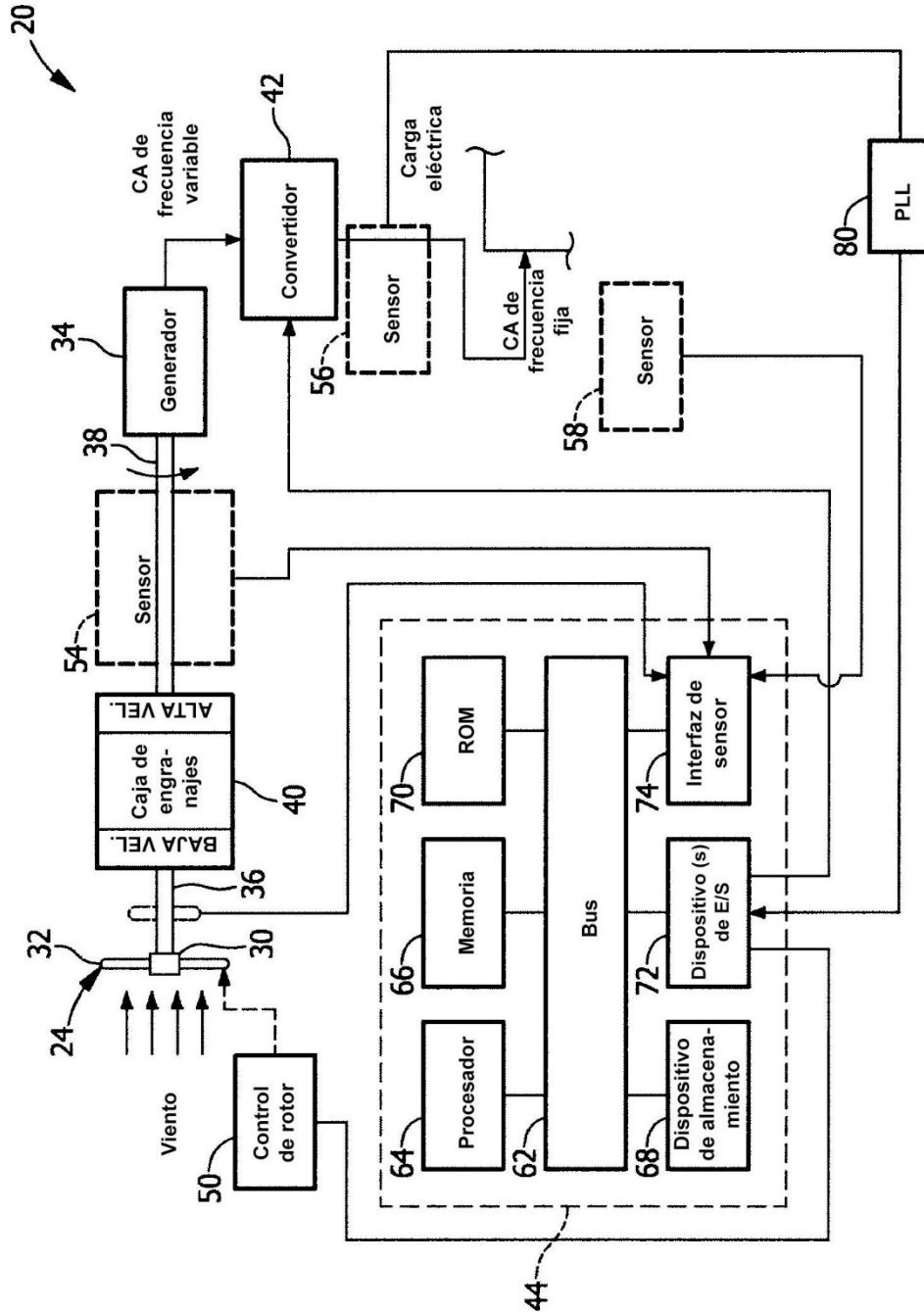


FIG. 4

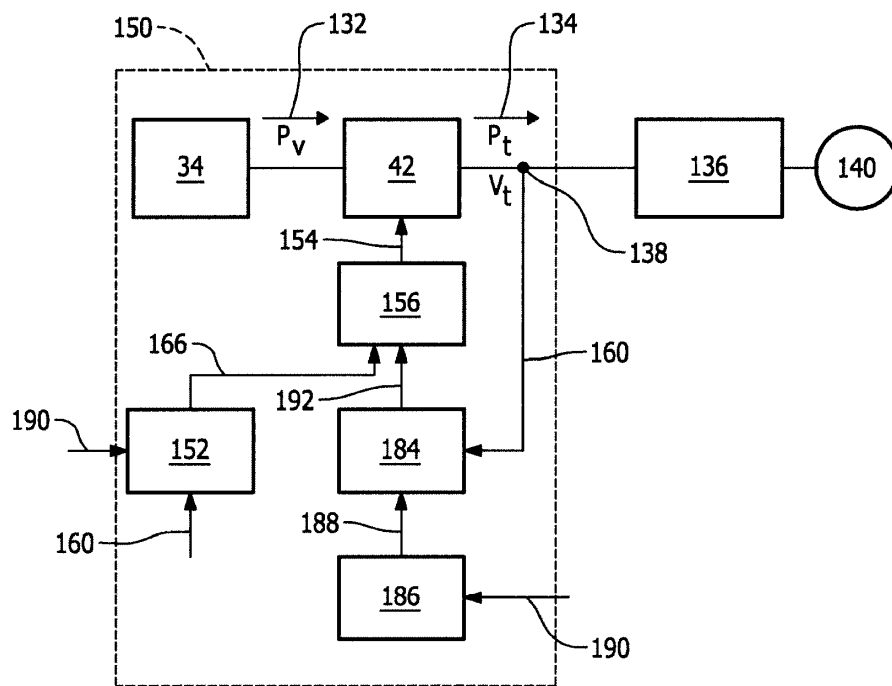


FIG. 5

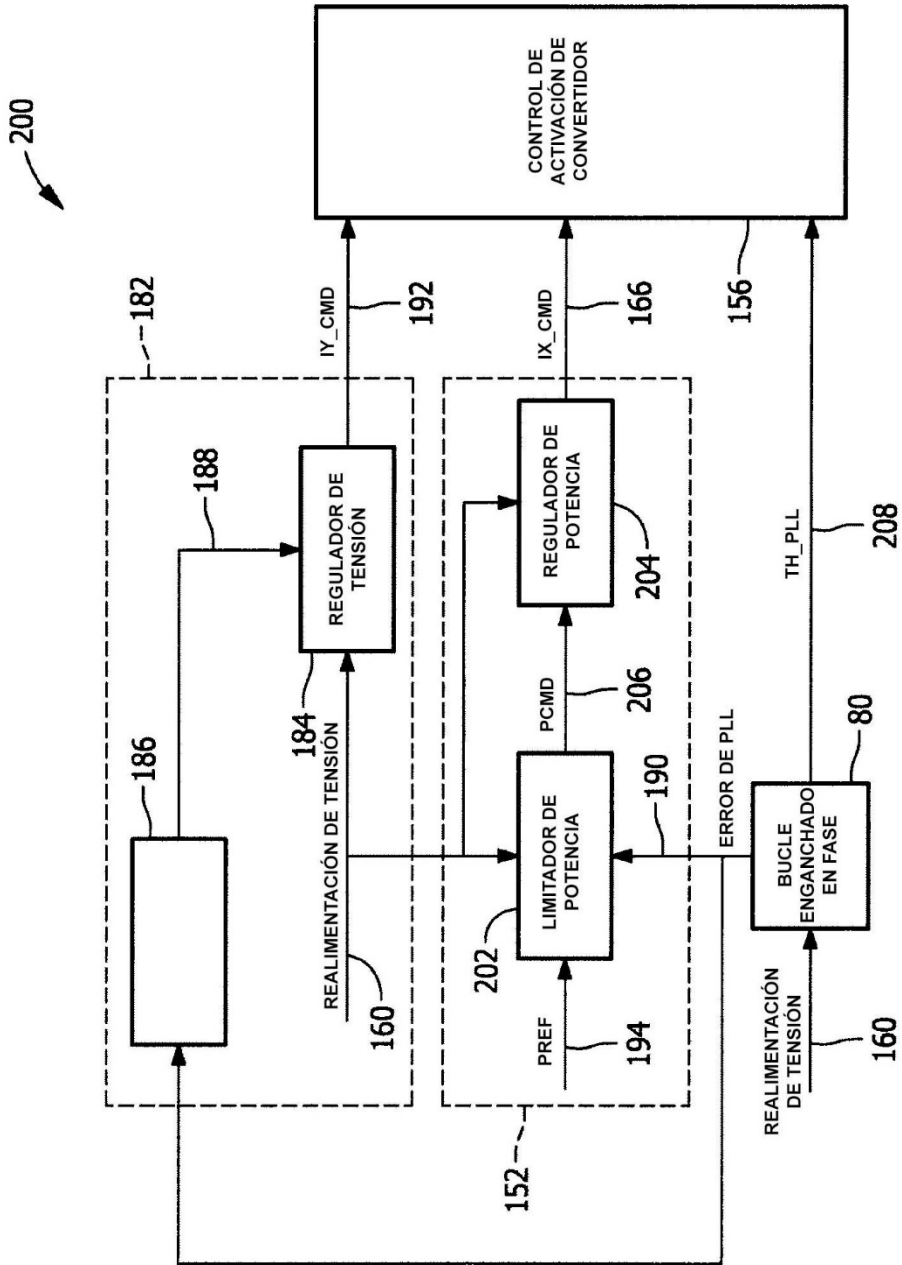


FIG. 6

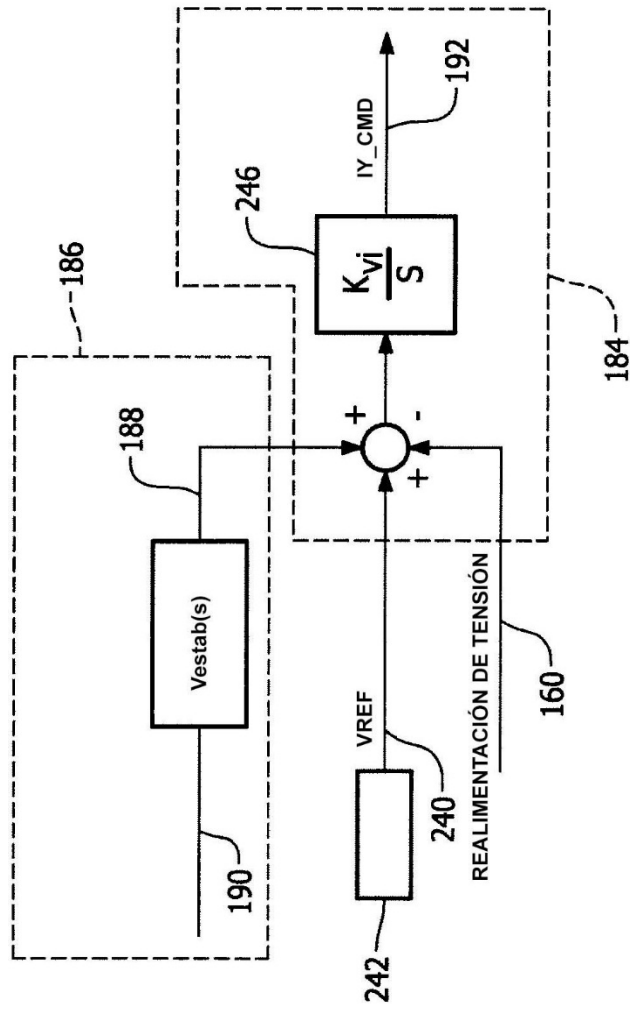


FIG. 7

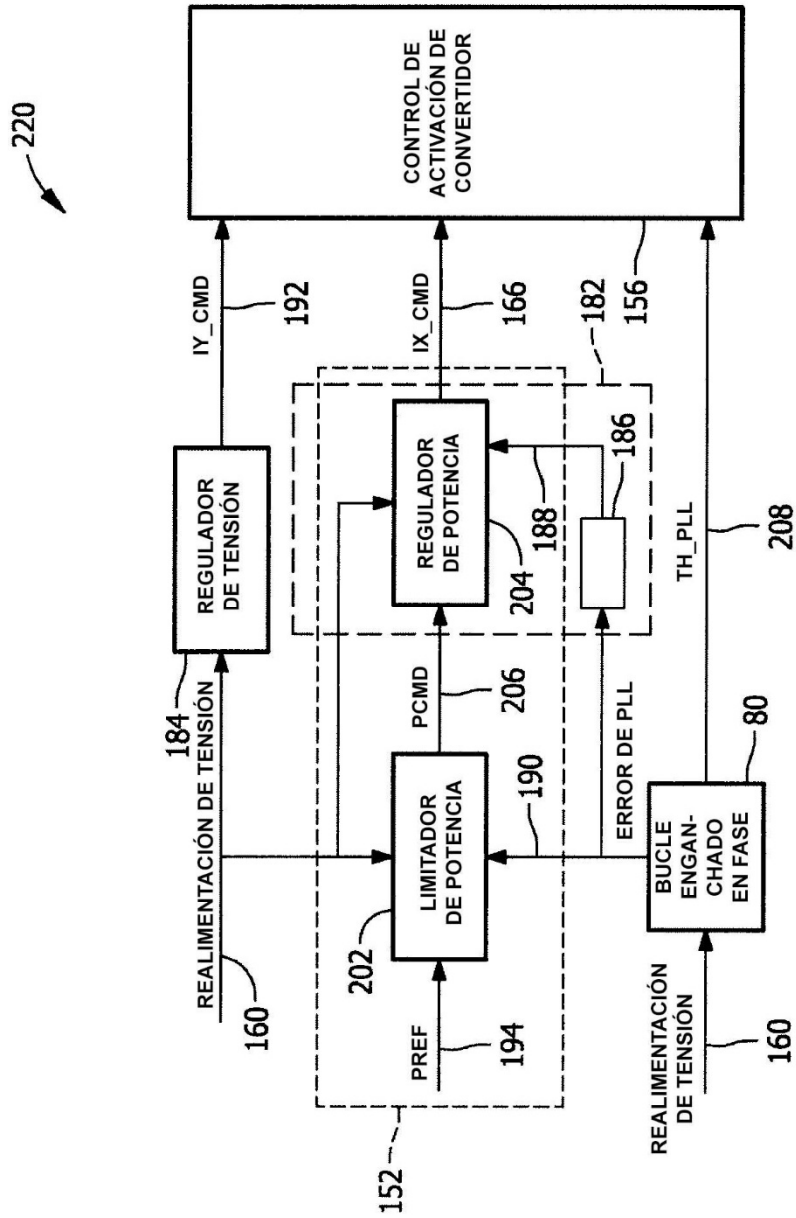


FIG. 8

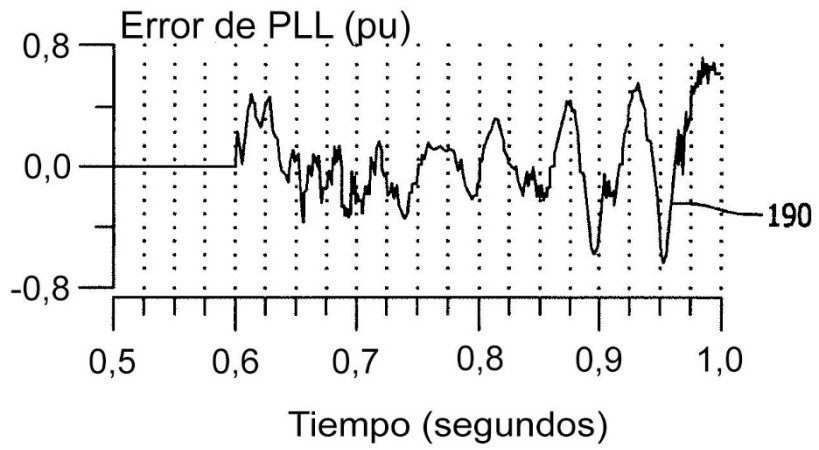


FIG. 9

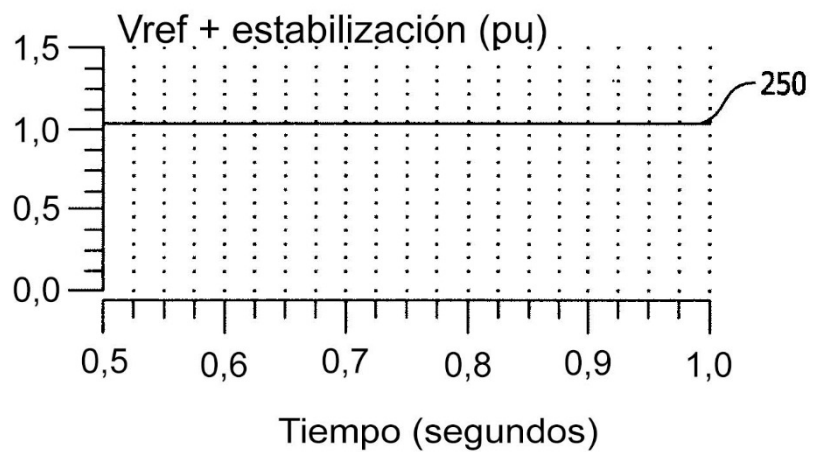


FIG. 10

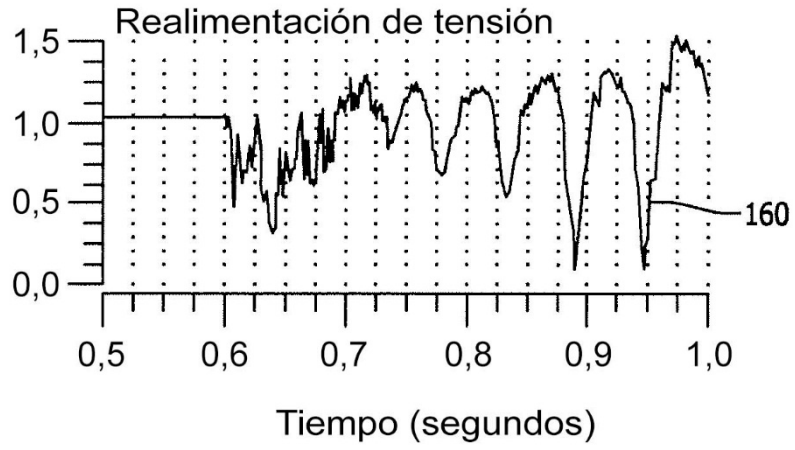


FIG. 11

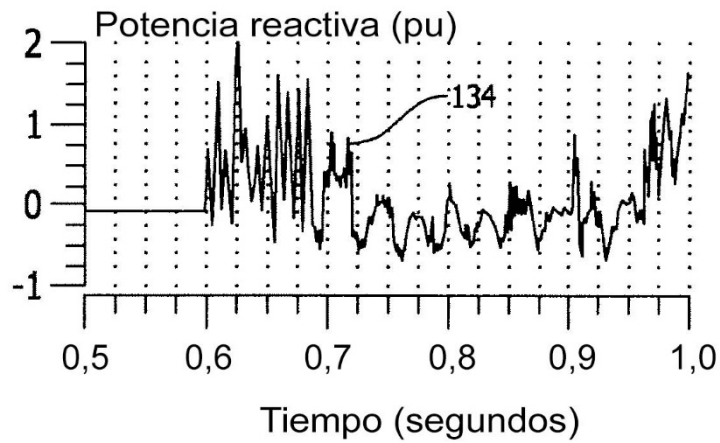


FIG. 12

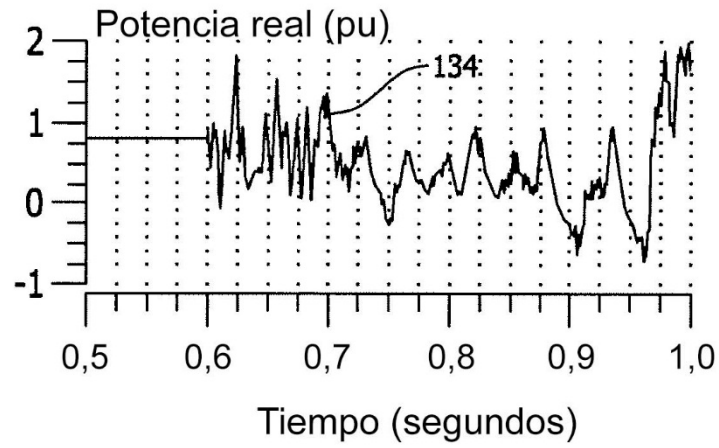


FIG. 13

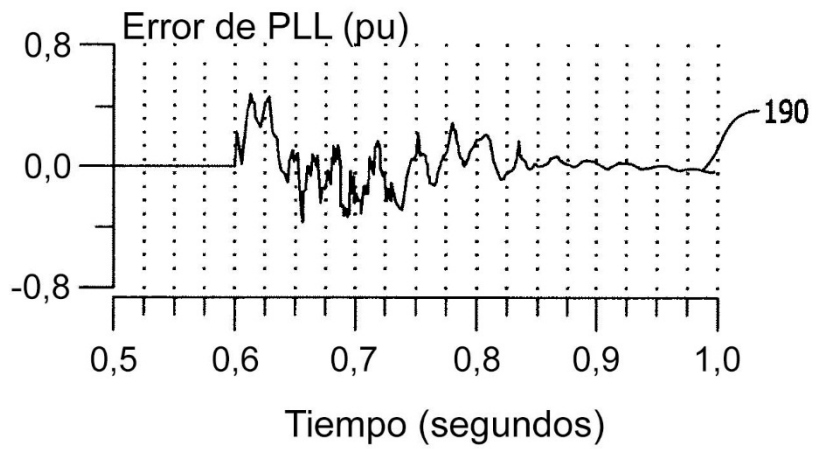


FIG. 14

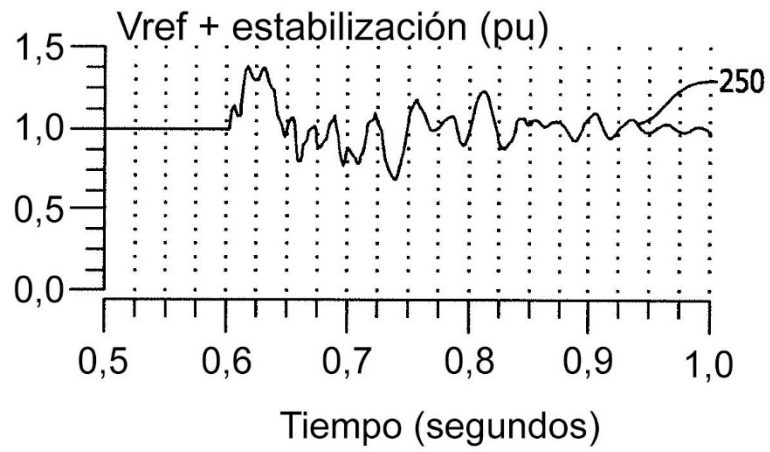


FIG. 15

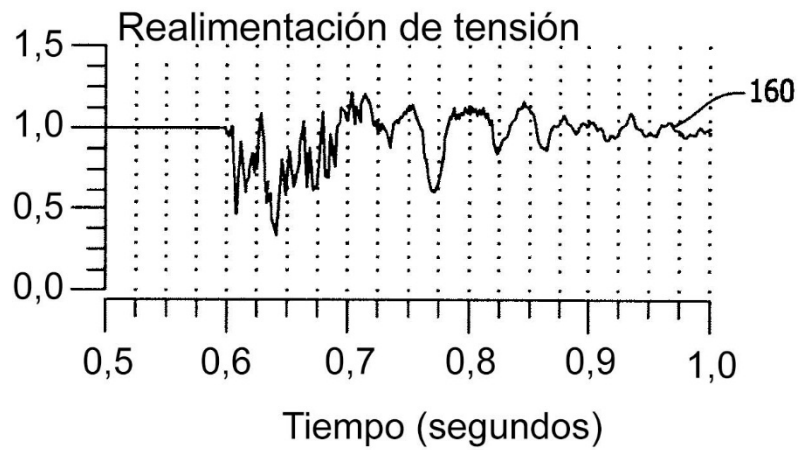


FIG. 16

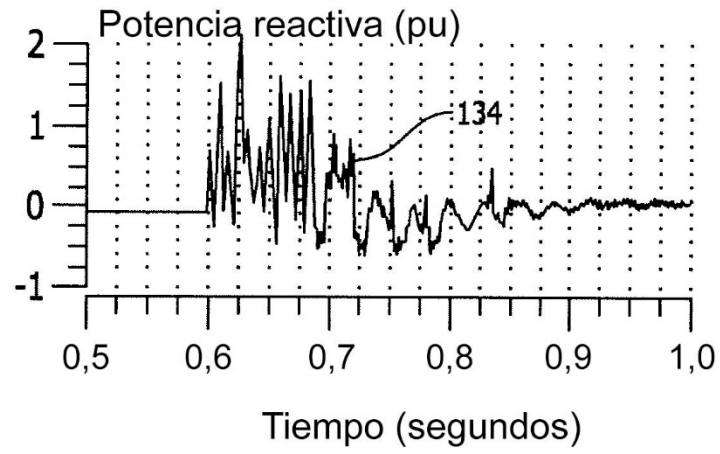


FIG. 17

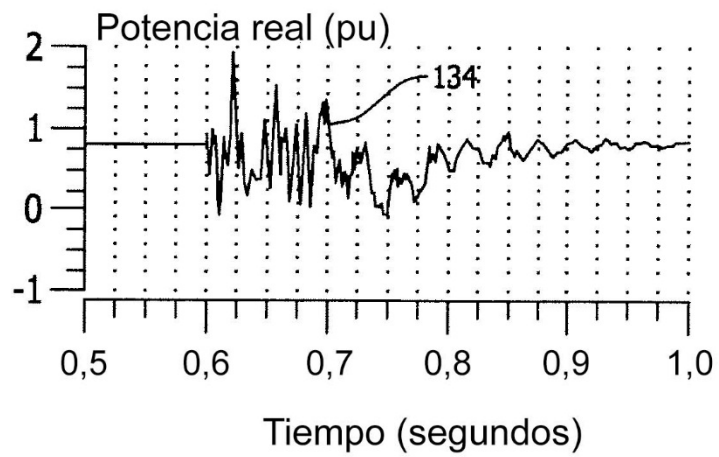


FIG. 18

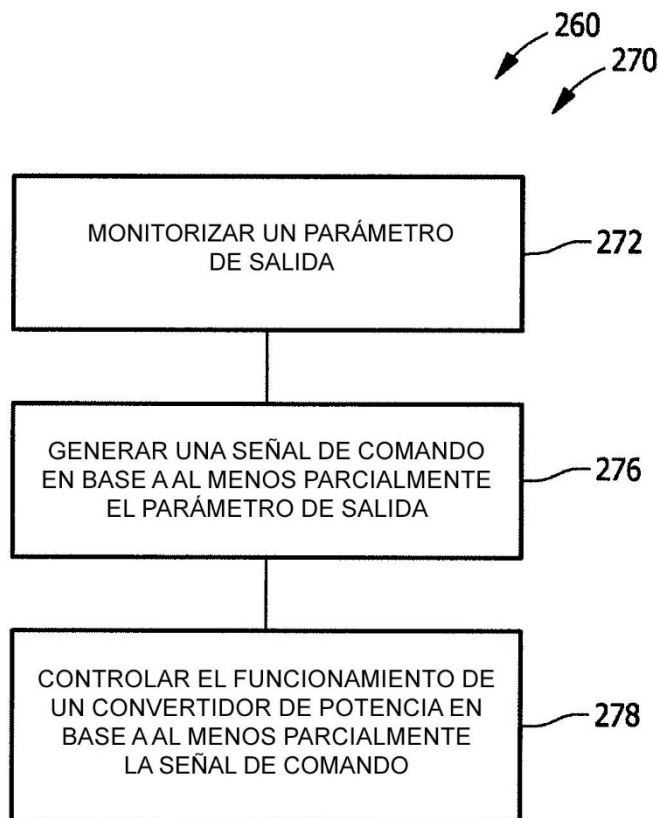


FIG. 19