

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 008 833**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02	(2006.01)
H02J 3/38	(2006.01)
H02J 3/18	(2006.01)
H02J 13/00	(2006.01)
H02P 9/00	(2006.01)
H03L 7/08	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.02.2019 PCT/US2019/018468**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **29.08.2019 WO19164792**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.02.2019 E 19757424 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2024 EP 3755901**

54 Título: **Señal anticipativa de ángulo de potencia para bucle de enganche de fase en sistemas de potencia de turbina eólica**

30 Prioridad:

22.02.2018 US 201815902184

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

25.03.2025

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

LARSEN, EINAR VAUGHN

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 3 008 833 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

Señal anticipativa de ángulo de potencia para bucle de enganche de fase en sistemas de potencia de turbina eólica

5 **Campo**

[0001] La presente divulgación se refiere, en general, a sistemas de potencia de turbina eólica, y, más específicamente, a un sistema y procedimiento para reducir el retardo entre una instrucción de potencia y la potencia real de un sistema de potencia de turbina eólica usando una señal anticipativa ("feedforward") de ángulo de potencia en un bucle de enganche de fase (PLL) del sistema de potencia.

Antecedentes

[0002] La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medioambiente disponibles actualmente, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna típicamente incluye una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola y un rotor. El rotor típicamente incluye un buje rotatorio que tiene una o más palas de rotor fijadas al mismo. Un rodamiento de *pitch* típicamente está configurado de forma operativa entre el buje y la pala de rotor para permitir la rotación alrededor de un eje de *pitch*. Las palas de rotor capturan energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos. Las palas de rotor transmiten la energía cinética en forma de energía de rotación para girar un eje que acopla las palas de rotor a una caja de engranajes o, si no se usa una caja de engranajes, directamente al generador. A continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica que se puede distribuir en una red de suministro.

[0003] Una salida de potencia del generador se incrementa con la velocidad del viento hasta que la velocidad del viento alcanza una velocidad del viento nominal para la turbina eólica. A la velocidad del viento nominal y por encima de ella, el generador funciona a una potencia nominal. La potencia nominal es una potencia de salida a la que el generador se puede operar con un nivel de fatiga de los componentes de turbina que se predetermina como aceptable. A velocidades del viento mayores que una determinada velocidad, o a un nivel de turbulencia del viento que exceda una magnitud predeterminada, típicamente denominado "límite de desconexión" o "límite de consigna de monitor", las turbinas eólicas se pueden parar o las cargas se pueden reducir regulando el *pitch* de las palas de rotor o frenando el rotor para proteger a los componentes de turbina eólica contra daños.

[0004] La operación a velocidad variable del generador facilita una captura de energía potenciada por el generador en comparación con una operación a velocidad constante del generador de turbina eólica; sin embargo, la operación a velocidad variable del generador produce electricidad que tiene tensión y/o frecuencia variables. Más específicamente, la frecuencia de la electricidad generada por el generador de velocidad variable es proporcional a la velocidad de rotación del rotor. Por tanto, se puede acoplar un convertidor de potencia entre el generador y la red de suministro. El convertidor de potencia genera electricidad que tiene una tensión y frecuencia fijos para su suministro a la red.

[0005] La generación de energía eólica y, en particular, el control de la potencia reactiva del sistema de potencia de turbina eólica deben participar activamente en la estabilidad y calidad de la red eléctrica. Por tanto, la compensación de potencia reactiva del sistema de potencia de turbina eólica está configurada para satisfacer las demandas de la red eléctrica y mantener una reserva de potencia reactiva para soportar contingencias en la red. Dichos objetivos pueden dar lugar a dar prioridad a la producción de potencia reactiva sobre la de potencia activa dependiendo de las condiciones de la red. Por tanto, en un sistema de potencia de turbina eólica típico, el controlador de turbina recibe una instrucción de potencia de un controlador a nivel de parque que se basa en diversas condiciones de red. Como tal, la instrucción de potencia ordena a cada turbina eólica cuánta potencia reactiva y activa se debe generar en base a la red.

[0006] En redes débiles, la respuesta a una instrucción de potencia puede ser floja. La respuesta lenta puede ser perjudicial para las funciones que requieran un cambio rápido de potencia para estabilizar el sistema de potencia (por ejemplo, el amortiguador del tren de potencia, las funciones de reducción rápida de potencia, etc.).

El documento US 2013/265809 A1 describe un procedimiento de control de un convertidor de lado de red de una turbina eólica. Una salida del convertidor de lado de red está conectada o se puede conectar por medio de una línea de potencia a una entrada de un transformador de red. Un voltio-segundo del convertidor que se produce en la salida del convertidor de lado de red se computa en base a una tensión de convertidor que se produce en la salida del convertidor de lado de red. Un error de voltio-segundo entre el voltio-segundo del convertidor determinado y una referencia de voltio-segundo del convertidor se determina en base a una referencia de potencia activa, una referencia de potencia reactiva, una corriente de línea y una tensión de línea que se producen en la entrada del transformador de red. En base al error de voltio-segundo determinado, el convertidor de lado de red se controla de modo que el error de voltio-segundo se compense parcial o completamente. Se puede usar un algoritmo de PLL para estimar el ángulo de red y la velocidad angular de la tensión de red. El algoritmo de PLL se

puede implementar usando la técnica del marco síncrono en rotación y puede usar la técnica de la media móvil para eliminar los componentes de secuencia negativa y armónicos de la tensión de red.

5 [0007] En consecuencia, la presente divulgación está dirigida a sistemas y procedimientos para reducir el retardo entre una instrucción de potencia y la potencia real de los sistemas de potencia de turbina eólica usando una señal anticipativa de ángulo de potencia en un bucle de enganche de fase (PLL) del sistema de potencia.

Breve descripción

10 [0008] Los aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden ser evidentes a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de la invención.

15 [0009] En un aspecto, la presente divulgación está dirigida a un procedimiento para reducir un retardo entre una instrucción de potencia y la potencia real de un sistema de potencia conectado a una red de potencia. El procedimiento incluye recibir, por medio de un estimador de ángulo de potencia, una instrucción de potencia del sistema de potencia. El procedimiento también incluye recibir, por medio del estimador de ángulo de potencia, una o más condiciones de red de la red de potencia. Además, el procedimiento incluye estimar, por medio del estimador de ángulo de potencia, una señal de ángulo de potencia a través del sistema de potencia en base a la instrucción de potencia y/o las una o más condiciones de red. El procedimiento incluye además recibir, por medio de un bucle de enganche de fase (PLL), la señal de ángulo de potencia estimada. Además, el procedimiento incluye generar, por medio del PLL, una señal de ángulo de fase de PLL en base, al menos en parte, a la señal de ángulo de potencia estimada. Por tanto, el procedimiento incluye además controlar, por medio de un controlador de convertidor, un conjunto de conversión de potencia del sistema de potencia en base a la señal de ángulo de fase de PLL.

25 [0010] En un modo de realización, el procedimiento incluye recibir, por medio del PLL, la señal de ángulo de potencia como una señal anticipativa.

30 [0011] En otro modo de realización, la etapa de estimar la señal de ángulo de potencia a través del sistema de potencia puede incluir calcular la señal de ángulo de potencia como una función de una potencia transmitida y una reactancia entre dos buses eléctricos en o cerca de los terminales del sistema de potencia. Más específicamente, en un modo de realización, la etapa de estimar la señal de ángulo de potencia a través del sistema de potencia puede incluir calcular la señal de ángulo de potencia como una función de la potencia transmitida, las magnitudes de tensión en los dos terminales del sistema de potencia y la reactancia entre los dos buses eléctricos en o cerca de los terminales del sistema de potencia.

40 [0012] Por ejemplo, en determinados modos de realización, la etapa de calcular la señal de ángulo de potencia como una función de la potencia transmitida, las magnitudes de tensión en los dos terminales del sistema de potencia y la reactancia entre los dos buses eléctricos en o cerca de los terminales del sistema de potencia puede incluir multiplicar las magnitudes de tensión en los dos terminales del sistema de potencia para obtener un primer valor multiplicado, dividir la reactancia entre los dos buses eléctricos en o cerca de los terminales del sistema de potencia por el primer valor multiplicado para obtener un multiplicador, multiplicar la potencia transmitida por el multiplicador para obtener un segundo valor multiplicado y aplicar una función no lineal al segundo valor multiplicado. En modos de realización particulares, la función no lineal puede incluir, por ejemplo, polinomio, seno, coseno o arco seno.

50 [0013] En otros modos de realización, la etapa de generar la señal de ángulo de fase de PLL en base, al menos en parte, a la señal de ángulo de potencia estimada puede incluir recibir una señal de retroalimentación de tensión de red terminal, determinar una señal de error de PLL en base a la señal de retroalimentación de tensión de red terminal, determinar, por medio de un regulador de PLL, una señal de frecuencia del PLL en respuesta a la señal de error de PLL, integrar la señal de frecuencia por medio de un integrador del PLL para obtener una señal de salida, y generar la señal de ángulo de fase de PLL en base a la señal de salida y la señal de ángulo de potencia. Por ejemplo, en un modo de realización, la etapa de generar la señal de ángulo de fase de PLL en base a la señal de salida y la señal de ángulo de potencia puede incluir añadir la señal de salida y la señal de ángulo de potencia.

55 [0014] Aún en otro modo de realización, el sistema de potencia puede ser un sistema de potencia de turbina eólica, un sistema de energía solar, un sistema de almacenamiento de energía y/o combinaciones de los mismos.

60 [0015] En otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a un sistema de potencia eléctrica conectado a una red de potencia. El sistema de potencia eléctrica incluye un generador eléctrico, un conjunto de conversión de potencia acoplado al generador eléctrico, un estimador de ángulo de potencia, un bucle de enganche de fase (PLL) y un controlador de convertidor. El conjunto de conversión de potencia está configurado para recibir potencia generada por el generador eléctrico y convertir la potencia recibida en una potencia adecuada para su transmisión a la red de potencia. El estimador de ángulo de potencia está configurado para estimar una señal de ángulo de potencia a través del sistema de potencia eléctrica en base a una instrucción de potencia y/o una o más condiciones de red recibidas. El PLL está configurado para generar una señal de ángulo de fase de PLL en base, al menos en

parte, a la señal de ángulo de potencia estimada. Por tanto, el controlador de convertidor controla el conjunto de conversión de potencia en base a la señal de ángulo de fase de PLL. Se debe entender que el sistema de potencia eléctrica puede incluir además cualquiera de las características adicionales como se describe en el presente documento.

5

[0016] Aún en otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a una turbina eólica conectada a una red de potencia. La turbina eólica incluye una torre, una góndola montada encima de la torre, un rotor que tiene un buje rotatorio y al menos una pala de rotor montada en el mismo, y un sistema de generación y suministro de potencia. El sistema de generación y suministro de potencia incluye un generador eléctrico conectado a una red de potencia, un conjunto de conversión de potencia acoplado al generador eléctrico, un estimador de ángulo de potencia, un bucle de enganche de fase (PLL) y un controlador de convertidor. El conjunto de conversión de potencia está configurado para recibir potencia generada por el generador eléctrico y convertir la potencia recibida en una potencia adecuada para su transmisión a la red de potencia. El estimador de ángulo de potencia está configurado para estimar una señal de ángulo de potencia a través de la turbina eólica en base a una instrucción de potencia y/o una o más condiciones de red recibidas. El PLL está configurado para generar una señal de ángulo de fase de PLL en base, al menos en parte, a la señal de ángulo de potencia estimada. Por tanto, el controlador de convertidor controla el conjunto de conversión de potencia en base a la señal de ángulo de fase de PLL. Se debe entender que la turbina eólica puede incluir además cualquiera de las características adicionales como se describe en el presente documento.

10

15

20

[0017] Estas y otras característica, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de la presente memoria descriptiva, ilustran los modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

25

Breve descripción de los dibujos

[0018] Una divulgación completa y habilitante de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, se expone en la memoria descriptiva, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

30

la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una parte de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

35

la FIG. 2 ilustra una vista en perspectiva interna de un modo de realización de una góndola de la turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 3 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de diversos componentes eléctricos de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

40

la FIG. 4 ilustra una vista esquemática de un modo de realización de un parque eólico de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 5 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un sistema de generación y suministro de potencia que puede incluir la turbina eólica mostrada en la FIG. 1;

45

la FIG. 6 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un sistema limitador de potencia que se puede incluir dentro del sistema de generación y suministro de potencia mostrado en la FIG. 4;

50

la FIG. 7 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un bucle de enganche de fase (PLL) que se puede incluir dentro del sistema de generación y suministro de potencia mostrado en la FIG. 4; y

la FIG. 8 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para reducir un retardo entre una instrucción de potencia y la potencia real de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación.

55

Descripción detallada

[0019] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, ilustrándose uno o más de sus ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. La invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

60

[0020] En general, la presente divulgación está dirigida a sistemas y procedimientos para reducir el retardo entre una instrucción de potencia y la potencia real de un sistema de potencia de turbina eólica usando una señal anticipativa de bucle de enganche de fase (PLL). En redes débiles, la respuesta a una instrucción de potencia es floja, lo que es perjudicial para las funciones que requieren un cambio rápido de potencia para estabilizar el sistema

65

de potencia, por ejemplo, el amortiguador del tren de potencia y las funciones de reducción rápida de potencia. Como tal, la señal anticipativa de PLL es útil para reducir el retardo entre la instrucción de potencia y la potencia real.

5 **[0021]** Más específicamente, en los sistemas de transmisión de CA, la transferencia de potencia se correlaciona con el ángulo de potencia a través del sistema. Al estimar el ángulo de potencia como una contribución anticipativa al bucle de enganche de fase, la señal anticipativa de PLL establece el marco de referencia para las funciones de control vectorial en el convertidor de potencia del sistema de potencia. Como tales, los sistemas y procedimientos de la presente divulgación provocan que el marco de referencia se mueva de acuerdo con el cambio de ángulo
10 estimado necesario para implementar la instrucción de potencia, reduciendo, de este modos, la necesidad de que el bucle cerrado PLL se ajuste por medio de su trayectoria de error.

[0022] En referencia, ahora, a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de un sistema de potencia de turbina eólica 10 (también denominado en el presente documento simplemente
15 turbina eólica 10) de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, la turbina eólica 10 descrita en el presente documento incluye una configuración de eje horizontal, sin embargo, en algunos modos de realización, la turbina eólica 10 puede incluir, además o de forma alternativa a la configuración de eje horizontal, una configuración de eje vertical (no mostrada). La turbina eólica 10 se puede acoplar a una carga eléctrica (no mostrada en la FIG. 1), tal como, pero sin limitarse a, una red de potencia, para recibir potencia eléctrica de la
20 misma para accionar la operación de la turbina eólica 10 y/o sus componentes asociados y/o para suministrar potencia eléctrica generada por la turbina eólica 10 a la misma.

[0023] La turbina eólica 10 puede incluir una góndola 12 y un rotor (en general, designado por 14) acoplado a la góndola 12 para su rotación con respecto a la góndola 12 alrededor de un eje de rotación 20. En un modo de
25 realización, la góndola 12 está montada en una torre 16, sin embargo, en algunos modos de realización, además o de forma alternativa a la góndola 12 montada en la torre, la góndola 12 se puede situar contigua al suelo y/o una superficie de agua. El rotor 14 incluye un buje 22 y una pluralidad de palas de rotor 24 que se extienden radialmente hacia afuera desde el buje 22 para convertir la energía eólica en energía de rotación. Aunque el rotor 14 se describe e ilustra en el presente documento como que tiene tres palas de rotor 24, el rotor 14 puede tener cualquier número
30 de palas de rotor 24. Además, las palas de rotor 24 pueden tener cada una cualquier longitud que permita que la turbina eólica 10 funcione como se describe en el presente documento.

[0024] En referencia, ahora, a la FIG. 2, la turbina eólica 10 también incluye un generador eléctrico 26 acoplado al rotor 14 para generar potencia eléctrica a partir de la energía de rotación generada por el rotor 14. El generador
35 26 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 doblemente alimentado (DFIG, también conocido como generadores asíncronos de doble alimentación), un generador síncrono de imán permanente (IP), un generador síncrono excitado eléctricamente y un generador de reluctancia conmutada. El generador 26 incluye un estátor (no mostrado) y un rotor (no mostrado) con un entrehierro incluido entre los mismos. El rotor 14 incluye un eje de rotor
40 28 acoplado al buje de rotor 22 para su rotación con el mismo. Además, el generador 26 está acoplado al eje de rotor 28 de modo que la rotación del eje de rotor 28 accione la rotación del rotor de generador y, por lo tanto, la operación del generador 26. En un modo de realización, el rotor de generador tiene un eje de generador 30 acoplado al mismo y acoplado al eje de rotor 28 de modo que la rotación del eje de rotor 28 accione la rotación del rotor de generador. En otros modos de realización, el rotor de generador está acoplado directamente al eje de rotor
45 28, denominado a veces "turbina eólica de accionamiento directo". En un modo de realización, el eje de generador 30 está acoplado al eje de rotor 28 a través de una caja de engranajes 32, aunque, en otros modos de realización, el eje de generador 30 está acoplado directamente al eje de rotor 28.

[0025] El par de torsión del rotor 14 acciona el rotor de generador para generar, de este modo, potencia eléctrica de CA de frecuencia variable a partir de la rotación del rotor 14. El generador 26 tiene un par de torsión de
50 entrehierro entre el rotor de generador y el estátor que se opone al par de torsión del rotor 14. Un conjunto de conversión de potencia 34 está acoplado al generador 26 para convertir la CA de frecuencia variable en una CA de frecuencia fija para su suministro a una carga eléctrica (no mostrada en la FIG. 2), tal como, pero sin limitarse a, una red de potencia (no mostrada en la FIG. 2), acoplada al generador 26. El conjunto de conversión de potencia 34 puede incluir un único convertidor de frecuencia o una pluralidad de convertidores de frecuencia configurados para convertir la electricidad generada por el generador 26 en electricidad adecuada para su suministro a través
55 de la red de potencia. El conjunto de conversión de potencia 34 también se puede denominar en el presente documento convertidor de potencia. El conjunto de conversión de potencia 34 se puede localizar en cualquier parte dentro o a distancia de la turbina eólica 10. Por ejemplo, el conjunto de conversión de potencia 34 se puede localizar dentro de una base (no mostrada) de la torre 16.
60

[0026] En determinados modos de realización, la turbina eólica 10 puede incluir un limitador de velocidad de rotor, por ejemplo, pero sin limitarse a, un freno de disco 36. El freno de disco 36 frena la rotación del rotor 14, por
65 ejemplo, para ralentizar la rotación del rotor 14, frenar el rotor 14 contra el par de torsión del viento completo y/o reducir la generación de potencia eléctrica del generador 26. Además, en algunos modos de realización, la turbina eólica 10 puede incluir un sistema de orientación 38 para rotar la góndola 12 alrededor de un eje de rotación 40,

para cambiar una orientación del rotor 14 y, más específicamente, para cambiar una dirección orientada por el rotor 14, por ejemplo, para ajustar un ángulo entre la dirección orientada por el rotor 14 y una dirección del viento.

[0027] En un modo de realización, la turbina eólica 10 incluye un sistema de *pitch* 42 de pala variable para controlar, incluyendo, pero sin limitarse a, cambiar, un ángulo de *pitch* de las palas 24 (mostradas en las FIGS. 1-2) con respecto a una dirección del viento. El sistema de *pitch* 42 se puede acoplar a un controlador 44 para su control de este modo. El sistema de *pitch* 42 está acoplado al buje 22 y a las palas de rotor 24 para cambiar el ángulo de *pitch* de las palas 24 rotando las palas de rotor 24 con respecto al buje 22. Los accionadores de *pitch* 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 *pitch* 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, potencia eléctrica, potencia electroquímica y/o potencia mecánica, tal como, pero sin limitarse a, fuerza de resorte.

[0028] En referencia, ahora, a la FIG. 3, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de diversos componentes eléctricos de la turbina eólica 10 de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, la turbina eólica 10 incluye uno o más controladores 44 acoplados a al menos un componente de la turbina eólica 10 para controlar, en general, la operación de la turbina eólica 10 y/o controlar la operación de componentes de la misma, independientemente de si dichos componentes se describen y/o muestran en el presente documento. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador 44 está acoplado al sistema de *pitch* 42 para controlar, en general, el rotor 14. Además, el controlador 44 se puede montar dentro de la góndola 12 (como se muestra en la FIG. 2), sin embargo, adicionalmente o de forma alternativa, uno o más controladores 44 pueden estar a distancia de la góndola 12 y/o otros componentes de la turbina eólica 10. Se puede(n) usar (un) controlador(es) 44 para la monitorización y control del sistema global, incluyendo, sin limitación, regulación de *pitch* y velocidad, aplicación del freno de eje de alta velocidad y de orientación, aplicación del motor de orientación y de bomba y/o monitorización de fallos. En algunos modos de realización se pueden usar arquitecturas de control distribuidas o centralizadas alternativas.

[0029] En un modo de realización, la turbina eólica 10 incluye una pluralidad de sensores, por ejemplo, los sensores 50, 52, 54, 56, 58 como se muestra en las FIGS. 1, 2 y 4. Como tales, los sensores 50, 52, 54, 56, 58 están configurados para medir una variedad de parámetros, incluyendo, sin limitación, condiciones operativas y condiciones atmosféricas. Por ejemplo, como se muestra, la turbina eólica 10 incluye un sensor de viento 56, tal como un anemómetro o cualquier otro dispositivo adecuado, configurado para medir las velocidades del viento o cualquier otro parámetro del viento. Los parámetros del viento incluyen información con respecto al menos uno de o una combinación de los siguientes: una ráfaga de viento, una velocidad del viento, una dirección del viento, una aceleración del viento, una turbulencia del viento, una variación de la velocidad del viento con la altura, una estela, información de SCADA o similar. Además, la turbina eólica 10 también puede incluir uno o más sensores adicionales para monitorizar parámetros operativos adicionales de la turbina eólica 10. Además, cada sensor 50, 52, 54, 56, 58 puede ser un sensor individual o puede incluir una pluralidad de sensores. Los sensores 50, 52, 54, 56, 58 pueden ser cualquier sensor adecuado que tenga cualquier localización adecuada dentro o a distancia de la turbina eólica 10 que permita que la turbina eólica 10 funcione como se describe en el presente documento. En algunos modos de realización, los sensores 50, 52, 54, 56, 58 están acoplados a uno de los controladores 44, 94, 156 descritos en el presente documento para transmitir mediciones a los controladores 44, 94, 156 para el procesamiento de los mismos.

[0030] Todavía en referencia a la FIG. 3, el controlador 44 puede incluir un bus 62 u otro dispositivo de comunicaciones para comunicar información. Además, uno o más procesador(es) 64 se puede(n) acoplar al bus 62 para procesar información, incluyendo información de los sensores 50, 52, 54, 56, 58 y/o el/los otro(s) sensor(es). El/los procesador(es) 64 puede(n) 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.

[0031] El controlador de sistema 44 también puede incluir una o más memorias de acceso aleatorio (RAM) 66 y/u otro(s) dispositivo(s) de almacenamiento 68. Por tanto, como se muestra, la(s) RAM 66 y el/los dispositivo(s) de almacenamiento 68 se pueden acoplar al bus 62 para almacenar y transferir información e instrucciones que se van a ejecutar por el/los procesador(es) 64. La(s) RAM 66 (y/o el/los dispositivo(s) de almacenamiento 68, si se incluye(n)) también se puede(n) 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 procesa(n) la 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 comparadores y/o de conversión residentes. La

ejecución de secuencias de instrucciones no se limita a ninguna combinación específica de circuitos de *hardware* e instrucciones de *software*.

5 **[0032]** El controlador 44 también puede incluir, o se puede acoplar a, dispositivo(s) de entrada/salida 72. El/los dispositivo(s) de entrada/salida 72 puede(n) incluir cualquier dispositivo conocido en la técnica para proporcionar datos de entrada al controlador 44 y/o para proporcionar salidas, tales como, pero sin limitarse a, salidas de control de orientación y/o de control de *pitch*. 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 a distancia 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 un modo de realización, el/los dispositivo(s) de entrada/salida 72 puede(n) incluir, sin limitación, periféricos de ordenador asociados con una interfaz de operario, tales como un ratón y un teclado (ninguno de los cuales se muestra en la FIG. 3). De forma alternativa, también se pueden usar otros periféricos de ordenador que puedan incluir, por ejemplo, un escáner (no mostrado en la FIG. 3). Además, en un modo de realización, los canales de salida adicionales pueden incluir, por ejemplo, un monitor de interfaz de operario (no mostrado en la FIG. 3). El controlador 44 también puede incluir una interfaz de sensor 74 que permita que el controlador 44 se comuniquen con los sensores 50, 52, 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.

25 **[0033]** En otro modo de realización, la turbina eólica 10 también incluye un bucle de enganche de fase (PLL) 80. Por ejemplo, como se muestra, el PLL 80 está acoplado al sensor 54. En un modo de realización, como se muestra, el sensor 54 es un transductor de tensión configurado para medir una salida de tensión de red terminal por el convertidor de frecuencia 34. De forma alternativa, el PLL 80 está configurado para recibir una pluralidad de señales de medición de tensión desde 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 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 PLL 80 funcione como se describe en el presente documento.

35 **[0034]** En referencia, ahora, a la FIG. 4, se ilustra la turbina eólica 10 descrita en el presente documento que puede ser parte de un parque eólico 90 que se controle de acuerdo con el sistema y procedimiento de la presente divulgación. Como se muestra, el parque eólico 90 puede incluir una pluralidad de turbinas eólicas 92, incluyendo la turbina eólica 10 descrita anteriormente, y un controlador a nivel de parque 94. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el parque eólico 90 incluye doce turbinas eólicas, incluyendo la turbina eólica 10. Sin embargo, en otros modos de realización, el parque eólico 90 puede incluir cualquier otro número de turbinas eólicas, tal como menos de doce turbinas eólicas o más de doce turbinas eólicas. En un modo de realización, el controlador 44 de la turbina eólica 10 se puede acoplar en comunicación al controlador a nivel de parque 94 a través de una conexión por cable, tal como conectando el controlador 44 a través de enlaces de comunicación 96 o redes adecuados (por ejemplo, un cable adecuado). De forma alternativa, el controlador 44 se puede acoplar en comunicación al controlador a nivel de parque 94 a través de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Además, el controlador a nivel de parque 94 se puede configurar, en general, similar a los controladores 44 para cada una de las turbinas eólicas 92 individuales dentro del parque eólico 90.

50 **[0035]** En referencia, ahora, a la FIG. 5, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un sistema de generación y suministro de potencia 150 de la turbina eólica 10. Como se muestra, el sistema de generación y suministro de potencia 150 incluye una fuente de energía, por ejemplo, el generador 26. Aunque se describe en el presente documento como generador de turbina eólica 26, 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. El sistema 150 también incluye un convertidor de potencia, tal como el convertidor de potencia 34. Por tanto, como se muestra, el convertidor de potencia 34 recibe potencia eléctrica 132 de frecuencia variable generada por el generador 26 y convierte la potencia eléctrica 132 en una potencia eléctrica 134 (denominada en el presente documento potencia terminal 134) adecuada para su transmisión a través de una red de transmisión y distribución de potencia eléctrica 136 (denominada en el presente documento red de suministro 136). Una tensión terminal (V_t) 138 se define en un nodo entre el convertidor de potencia 34 y la red de suministro 136. Una carga 140 está acoplada a la red de suministro 136 donde se define una tensión Thevenin. Como se describe anteriormente, la operación a velocidad variable de la turbina eólica 10 facilita una captura de energía potenciada en comparación con una operación a velocidad constante de la turbina eólica 10, sin embargo, la operación a velocidad variable de la turbina eólica 10 produce potencia eléctrica 132 que tiene tensión y/o frecuencia variables. Más específicamente, la frecuencia de la potencia eléctrica 132 generada por el generador de velocidad variable 26 es proporcional a la velocidad de rotación del rotor 14 (mostrado en la FIG. 1). En un modo de realización, el convertidor de potencia

34 genera la potencia terminal 134 que tiene una tensión y frecuencia sustancialmente fijas para su suministro en la red de suministro 136.

5 **[0036]** El convertidor de potencia 34 también controla un par de torsión de entrehierro del generador 26. El par de torsión de entrehierro está presente entre el rotor de generador (no mostrado en la FIG. 3) y el estátor de generador (no mostrado en la FIG. 3) y se opone al par de torsión aplicado al generador 26 por el rotor 14. Un equilibrio entre un par de torsión en el rotor 14 creado por la interacción de las palas de rotor 24 y el viento y el par de torsión de entrehierro facilita la operación estable de la turbina eólica 10. Los ajustes de turbina eólica, por ejemplo, ajustes de *pitch* de pala o acontecimientos en la red, por ejemplo, transitorios de tensión bajo o transitorios de tensión nulo en la red de suministro 136, pueden provocar un desequilibrio entre el par de torsión en el rotor 14 provocado por el viento y el par de torsión de entrehierro. El convertidor de potencia 34 controla el par de torsión de entrehierro que facilita el control de la salida de potencia del generador 26; sin embargo, puede que la turbina eólica 10 no pueda operar a través de determinados acontecimientos en la red, o puede sufrir desgaste y/o daños debido a determinados acontecimientos en la red, debido a un periodo de tiempo requerido para que los ajustes en la operación de turbina eólica surtan efecto después de detectar el acontecimiento en la red.

15 **[0037]** Todavía en referencia a la FIG. 5, el sistema 150 puede incluir un sistema limitador de potencia 152 dependiente de la red. En dichos modos de realización, un controlador, por ejemplo, pero sin limitarse a, el controlador 44 (mostrado en la FIG. 3), se puede programar para realizar las funciones del sistema limitador de potencia 152 dependiente de la red. Sin embargo, en modos de realización alternativos, las funciones del sistema limitador de potencia 152 dependiente de la red se pueden realizar por cualquier circuito configurado para permitir que el sistema 150 funcione como se describe en el presente documento. El sistema limitador de potencia 152 está configurado para identificar la aparición de un acontecimiento de contingencia en la red y proporcionar al convertidor de potencia 34 señales que faciliten la provisión de una recuperación estable del acontecimiento en la red.

20 **[0038]** El conjunto de conversión de potencia 34 está configurado para recibir señales de control 154 desde un controlador de interfaz de convertidor 156. Las señales de control 154 se basan en características operativas o condiciones operativas detectadas de la turbina eólica 10 como se describe en el presente documento y se usan para controlar la operación del conjunto de conversión de potencia 34. Los ejemplos de condiciones operativas medidas pueden incluir, pero no se limitan a, una tensión de red terminal, un error de PLL, una tensión de bus de estátor, una tensión de bus de rotor y/o una corriente. Por ejemplo, el sensor 54 mide la tensión de red terminal 138 y transmite una señal de retroalimentación de tensión de red terminal 160 al sistema limitador de potencia 152. El sistema limitador de potencia 152 genera una señal de instrucción de potencia 162 en base al menos parcialmente a la señal de retroalimentación 160 y transmite la señal de instrucción de potencia 162 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 del sistema 44. También se puede usar otra retroalimentación de condición operativa de otros sensores por el controlador 44 y/o controlador de interfaz de convertidor 156 para controlar el conjunto de conversión de potencia 34.

30 **[0039]** Como se menciona, los sistemas y procedimientos descritos en el presente documento facilitan la reducción del retardo entre una instrucción de potencia y la potencia real de un sistema de potencia de turbina eólica, tal como la turbina eólica 10. Por tanto, como se muestra en la FIG. 6, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización del sistema limitador de potencia 152 de la turbina eólica 10 de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, el sistema limitador de potencia 152 está configurado para generar la señal de instrucción de potencia 162 (mostrada en la FIG. 5), que, en un modo de realización, es al menos una de una señal de instrucción de corriente real 166 y una señal de instrucción de corriente reactiva 168. Además, como se muestra, el sistema limitador de potencia 152 incluye un limitador de potencia 180, un regulador de potencia 182 y un regulador de tensión 184. En un caso, el limitador de potencia 180 recibe al menos una condición operativa medida del sistema 150. La(s) condición/condiciones operativa(s) medida(s) puede(n) incluir, pero no se limitan a, una señal de error de PLL 190 (por ejemplo, PLLERR) del PLL 80 y la señal de retroalimentación de tensión de red terminal 160 (por ejemplo, VT_FBK) del sensor 54.

45 **[0040]** El limitador de potencia 180 también recibe una señal de control de potencia de referencia 194 almacenada (por ejemplo, PREF), por ejemplo, desde el controlador 44 (FIG. 3). En algunos modos de realización, el limitador de potencia 180 recibe la señal de control de límite de potencia 224 y la señal de control de potencia de referencia 194 y genera la señal de instrucción de potencia 198 correspondiente a la menor de la señal de control de límite de potencia 224 y la señal de control de potencia de referencia 194. Por tanto, como se muestra, el limitador de potencia 180 genera la señal de instrucción de potencia 198 (por ejemplo, PCMD) y transmite la señal de instrucción de potencia 198 al regulador de potencia 182. A continuación, el regulador de potencia 182 genera la señal de instrucción de corriente real 166 y transmite la señal 166 al controlador de interfaz de convertidor 156. La señal de instrucción de corriente real 166 ordena al controlador de interfaz de convertidor 156 que modifique un componente real de corriente que el conjunto de conversión de potencia 34 intenta inyectar en la red de suministro 136.

[0041] Todavía en referencia a la FIG. 6, el regulador de tensión 184 genera la señal de instrucción de corriente reactiva 168 (por ejemplo, IY_CMD) y envía la señal de instrucción 168 al controlador de interfaz de convertidor 156. La señal de instrucción de corriente 168 ordena al controlador de interfaz de convertidor 156 que modifique un componente reactivo de la corriente inyectada en la red de suministro 136. Como se muestra, 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 PLL 80 se puede incluir dentro del controlador 44, o se puede acoplar a, pero separado de, el controlador 44.

[0042] El PLL 80 también recibe la señal de retroalimentación de tensión terminal 160. Por ejemplo, el PLL 80 puede recibir la señal de retroalimentación de tensión terminal 160 (mostrada en la FIG. 3 como V_t) proporcionada por el sensor 54 (mostrado en la FIG. 3). Además, como se muestra, el PLL 80 recibe una señal anticipativa de PLL 192 (por ejemplo, PLL_FF), que se describe con más detalle en referencia a la FIG. 7 a continuación. Como se describe anteriormente, el PLL 80 también genera la señal de error de PLL 190 (por ejemplo, PLLERR) y una señal de ángulo de fase de PLL 202 (por ejemplo, TH_PLL). La señal de ángulo de fase de PLL 202 se transmite al controlador de interfaz de convertidor 156 para el control del conjunto de conversión de potencia 34 y para el control posterior de las corrientes eléctricas inyectadas en la red de suministro 136 (mostrada en la FIG. 5).

[0043] Más específicamente, como se muestra en la FIG. 7, se ilustra una vista esquemática detallada del PLL 80. Como se muestra, el PLL 80 puede incluir, en general, un demodulador 204 que recibe la señal de retroalimentación de tensión terminal 160. Como tal, el demodulador 204 está configurado para extraer el error de fase entre la onda portadora de retroalimentación de tensión terminal original (es decir, la señal de retroalimentación de tensión 160) y el ángulo de PLL. El demodulador 204 genera la señal de error de PLL 190 que se regula por medio del regulador de PLL 206. A continuación, el regulador de PLL 206 determina una señal de frecuencia 208 (es decir, PLL_W) del PLL 80 en respuesta a la señal de error de PLL 190. A continuación, la señal de frecuencia 208 se puede integrar por medio del integrador 210 del PLL 80. A continuación, la señal de salida 212 del integrador 210 se envía al bloque de función 214.

[0044] Todavía en referencia a la FIG. 7, la señal anticipativa de PLL 192 (que también se puede denominar en el presente documento señal de ángulo de potencia) se puede estimar por medio de un estimador de ángulo de potencia 216. Como se usa en el presente documento, el término "anticipativo" engloba su interpretación más amplia, que, en general, describe un elemento o vía dentro de un sistema de control que pasa una señal de control desde una fuente en su entorno externo a una carga en otra parte de su entorno externo. Por tanto, como se muestra, la señal de ángulo de potencia 192 se estima de forma externa al PLL 80 y, a continuación, se introduce en el PLL 80. En consecuencia, el estimador de ángulo de potencia 216 está configurado para estimar o calcular un ángulo de potencia a través del sistema de potencia eléctrica (por ejemplo, la turbina eólica 10) en base a la instrucción de potencia PCMD 198 y/o una o más condiciones de red 218 externas recibidas. Por ejemplo, en un modo de realización, el ángulo de potencia (PA) se puede estimar usando la ecuación (1) a continuación (que supone que las tensiones del sistema de potencia permanecen constantes y el ángulo está por debajo de aproximadamente 30 grados):

$$PA=P*X \text{ Ecuación (1)}$$

Donde P es la potencia transmitida,

X es la reactancia entre dos buses eléctricos en o cerca de los terminales del sistema de potencia, y

PA es el ángulo entre los dos terminales del sistema de potencia (también denominado en el presente documento "ángulo de potencia"). En dichos modos de realización, las condiciones de red 218 externas se usan para mejorar el ángulo de potencia estimado. Por ejemplo, al usar las condiciones de red 218 externas, el estimador de ángulo de potencia 216 puede proporcionar una estimación más exacta de la reactancia X, por ejemplo, en base al estado de los disyuntores del sistema en las líneas de transmisión externas.

[0045] En modos de realización alternativos, el ángulo de potencia (PA) se puede estimar usando una función no lineal. Por ejemplo, en un modo de realización, la función no lineal puede incluir una función polinómica o trigonométrica, tal como, pero sin limitarse a, seno, coseno o arcoseno. Por tanto, en un modo de realización particular, el ángulo de potencia (PA) se puede estimar usando la ecuación (2) a continuación:

$$PA=\arcsen [P*X/(V1*V2)] \text{ Ecuación (2)}$$

Donde P es la potencia transmitida,

V1 y V2 son las magnitudes de tensión en los dos terminales del sistema de potencia,

X es la reactancia entre los dos buses eléctricos en o cerca de los terminales del sistema de potencia, y

PA es el ángulo entre los dos terminales del sistema de potencia (también denominado en el presente documento "ángulo de potencia"). En dichos modos de realización, las condiciones de red 218 externas se pueden usar para mejorar el ángulo de potencia estimado. Por ejemplo, al usar las condiciones de red 218 externas, el estimador de ángulo de potencia 216 puede proporcionar una estimación más exacta de las magnitudes de tensión V2 y V1.

[0046] En el bloque de función 214, el PLL 80 está configurado para generar la señal de ángulo de fase de PLL 202 en base a la señal de ángulo de potencia anticipativa 192 estimada y la señal de salida del integrador 210. Más específicamente, como se muestra, el PLL 80 genera la señal de ángulo de fase de PLL 202 sumando la señal de ángulo de potencia anticipativa 192 estimada y la señal de salida 212 del integrador 210. Por tanto, como se muestra en la FIG. 6, el controlador de convertidor 156 controla el conjunto de conversión de potencia 34 en base a la señal de ángulo de fase de PLL.

[0047] En referencia, ahora, a la FIG. 8, se ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 100 para reducir un retardo entre la instrucción de potencia 198 y la potencia real de la turbina eólica 10. Como se muestra en 102, el procedimiento 100 incluye recibir, por medio del estimador de ángulo de potencia 216, la instrucción de potencia 198 del sistema de potencia de turbina eólica 10. Como se muestra en 104, el procedimiento 100 incluye recibir, por medio del estimador de ángulo de potencia, una o más condiciones de red de la red de potencia. Por ejemplo, la condición de red puede incluir, pero sin limitarse a, información que pueda contribuir a estimar la reactancia X entre los dos buses eléctricos en o cerca de los terminales del sistema de potencia, tal como el estado del disyuntor o, de forma alternativa, un conocimiento *a priori* de la naturaleza de la red de potencia. Por ejemplo, la reactancia de la red se puede conocer para un proyecto dado, en cuyo caso el parámetro X se puede establecer de acuerdo con ese conocimiento *a priori*. Otro ejemplo de dicha información puede incluir conocer si un sistema de red puede tener una línea de transmisión importante que, si se retira del servicio, producirá un cambio sustancial en la reactancia efectiva. En un caso de este tipo, la reactancia efectiva se computaría *a priori* conociendo las características de la red con y sin esa línea importante en servicio. A continuación, durante la operación, la selección de la reactancia X en la estimación del ángulo de potencia se alternaría entre los dos valores computados previamente de X dependiendo del estado de los disyuntores de circuito en esa línea. Como se muestra en 106, el procedimiento 100 incluye estimar, por medio del estimador de ángulo de potencia 216, una señal de ángulo de potencia 192 a través del sistema de potencia en base a la instrucción de potencia y/o la(s) condición/condiciones de red. Como se muestra en 108, el procedimiento 100 incluye recibir, por medio del PLL 80, la señal de ángulo de potencia 192 estimada como una señal anticipativa. Como se muestra en 110, el procedimiento 100 incluye generar, por medio del PLL 80, la señal de ángulo de fase de PLL 202 en base, al menos en parte, a la señal de ángulo de potencia 192 estimada. Como se muestra en 112, el procedimiento 100 incluye controlar, por medio del controlador de convertidor 156, el conjunto de conversión de potencia 34 en base a la señal de ángulo de fase de PLL 202.

[0048] Por tanto, la función anticipativa de la presente divulgación proporciona menos desfase entre la potencia real y la instrucción de potencia, en particular, en redes débiles que operan a alta potencia. Los beneficios de la función anticipativa de la presente divulgación pueden depender de lo cerca que esté el ángulo de potencia estimado de la característica real del sistema de transmisión de CA. Como se menciona, la ecuación (2) anterior indica parámetros operativos de ejemplo necesarios para derivar el ángulo de potencia descrito en el presente documento.

[0049] Aunque las características específicas de diversos modos de realización de la invención se pueden mostrar en algunos dibujos y no en otros, esto solo es por conveniencia. De acuerdo con los principios de la invención, se puede hacer referencia a y/o reivindicar cualquier característica de un dibujo en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.

[0050] Esta descripción por escrito usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para posibilitar que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento para reducir un retardo entre una instrucción de potencia (198) y la potencia real de un sistema de potencia (150) conectado a una red de potencia (136), comprendiendo el procedimiento:

recibir, por medio de un estimador de ángulo de potencia (216), una instrucción de potencia (198) del sistema de potencia (150);
recibir, por medio del estimador de ángulo de potencia (216), una o más condiciones de red (218) de la red de potencia (136);
10 estimar, por medio del estimador de ángulo de potencia (216), una señal de ángulo de potencia (192) a través del sistema de potencia (150) en base a la instrucción de potencia (198) y las una o más condiciones de red (218);
caracterizado por que el procedimiento comprende además:
15 recibir, por medio de un bucle de enganche de fase, PLL (80), la señal de ángulo de potencia (192) estimada;
generar, por medio del PLL (80), una señal de ángulo de fase de PLL (202) en base, al menos en parte, a la señal de ángulo de potencia (192) estimada; y,
controlar, por medio de un controlador de convertidor (156), un conjunto de conversión de potencia (34) del sistema de potencia (150) en base a la señal de ángulo de fase de PLL (202).
- 20 2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además recibir, por medio del PLL (80), la señal de ángulo de potencia (192) como una señal anticipativa.
- 25 3. El procedimiento de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la estimación de la señal de ángulo de potencia (192) a través del sistema de potencia (150) comprende, además:
calcular la señal de ángulo de potencia (192) como una función de una potencia transmitida y una reactancia entre dos buses eléctricos en o cerca de los terminales del sistema de potencia (150).
- 30 4. El procedimiento de la reivindicación 3, en el que la estimación de la señal de ángulo de potencia (192) a través del sistema de potencia (150) comprende, además:
calcular la señal de ángulo de potencia (192) como una función de la potencia transmitida, las magnitudes de tensión en los dos terminales del sistema de potencia (150), y la reactancia entre dos buses eléctricos en o cerca de los terminales del sistema de potencia (150).
- 35 5. El procedimiento de la reivindicación 4, que comprende además calcular la señal de ángulo de potencia (192) como una función no lineal de la potencia transmitida, las magnitudes de tensión en los dos terminales del sistema de potencia (150), y la reactancia entre los dos buses eléctricos en o cerca de los terminales del sistema de potencia (150).
- 40 6. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que el cálculo de la señal de ángulo de potencia (192) como una función de la potencia transmitida, las magnitudes de tensión en los dos terminales del sistema de potencia (150), y la reactancia entre los dos buses eléctricos en o cerca de los terminales del sistema de potencia (150) comprende, además:
45 multiplicar las magnitudes de tensión en los dos terminales del sistema de potencia (150) para obtener un primer valor multiplicado; dividir la reactancia entre los dos buses eléctricos en o cerca de los terminales del sistema de potencia (150) por el primer valor multiplicado para obtener un multiplicador;
multiplicar la potencia transmitida por el multiplicador para obtener un segundo valor multiplicado; y,
50 aplicar una función no lineal al segundo valor multiplicado.
7. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que la función no lineal comprende al menos uno de polinomio, seno, coseno o arco seno.
- 55 8. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la generación de la señal de ángulo de fase de PLL (202) en base, al menos en parte, a la señal de ángulo de potencia (192) estimada comprende además:
60 recibir una señal de retroalimentación de tensión de red terminal;
determinar una señal de error de PLL (190) en base a la señal de retroalimentación de tensión de red terminal;
determinar, por medio de un regulador de PLL (206), una señal de frecuencia (208) del PLL (80) en respuesta a la señal de error de PLL (190);
integrar la señal de frecuencia (208) por medio de un integrador (210) del PLL para obtener una señal de salida; y,
65 generar la señal de ángulo de fase de PLL (202) en base a la señal de salida y la señal de ángulo de potencia (192).

- 5
9. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que la generación de la señal de ángulo de fase de PLL (202) en base a la señal de salida y la señal de ángulo de potencia (192) comprende además añadir la señal de salida y la señal de ángulo de potencia (192).
10. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el sistema de potencia (150) comprende al menos uno de un sistema de potencia de turbina eólica, un sistema de energía solar o un sistema de almacenamiento de energía.
- 10 11. Un sistema de potencia eléctrica (150) conectado a una red de potencia (136), que comprende:
- un generador eléctrico (26);
 un conjunto de conversión de potencia (34) acoplado al generador eléctrico (26), el conjunto de conversión de potencia (34) configurado para recibir potencia generada por el generador eléctrico (26) y convertir la potencia recibida en una potencia adecuada para su transmisión a la red de potencia (136);
 un estimador de ángulo de potencia (216) configurado para estimar una señal de ángulo de potencia (192) a través del sistema de potencia eléctrica (150) en base a una instrucción de potencia (198) y una o más condiciones de red (218) de la red de potencia (136) recibidas;
caracterizado por que el sistema de potencia eléctrica comprende además:
 un bucle de enganche de fase, PLL (80), configurado para generar una señal de ángulo de fase de PLL (202) en base, al menos en parte, a la señal de ángulo de potencia (192) estimada; y,
 un controlador de convertidor (156) para controlar el conjunto de conversión de potencia (34) en base a la señal de ángulo de fase de PLL (202).
- 15
- 20
- 25 12. El sistema de potencia eléctrica (150) de la reivindicación 11, en el que el PLL está configurado para recibir la señal de ángulo de potencia (192) como una señal anticipativa.
- 30 13. El sistema de potencia eléctrica (150) de las reivindicaciones 11 o 12, en el que el estimador de ángulo de potencia (216) está configurado para estimar la señal de ángulo de potencia (192) a través del sistema de potencia (150) calculando la señal de ángulo de potencia (192) como una función de al menos una de una potencia transmitida, magnitudes de tensión en dos terminales del sistema de potencia (150), y la reactancia entre los dos buses eléctricos en o cerca de los terminales del sistema de potencia (150).
- 35 14. El sistema de potencia eléctrica (150) de la reivindicación 13, en el que el estimador de ángulo de potencia (216) está configurado para calcular la señal de ángulo de potencia (192) como una función no lineal de la potencia transmitida, las magnitudes de tensión en los dos terminales del sistema de potencia (150) y la reactancia entre los dos buses eléctricos en o cerca de los terminales del sistema de potencia (150).
- 40 15. El sistema de potencia eléctrica (150) de las reivindicaciones 11, 12, 13 o 14, en el que el PLL está configurado para generar la señal de ángulo de fase de PLL (202) en base, al menos en parte, a la señal de ángulo de potencia (192) estimada mediante:
- recibir una señal de retroalimentación de tensión de red terminal;
 determinar una señal de error de PLL (190) en base a la señal de retroalimentación de tensión de red terminal;
 determinar, por medio de un regulador de PLL del PLL, una señal de frecuencia (208) del PLL en respuesta a la señal de error de PLL (190);
 integrar la señal de frecuencia (208) por medio de un integrador (210) del PLL para obtener una señal de salida; y,
 generar la señal de ángulo de fase de PLL (202) en base a la señal de salida y la señal de ángulo de potencia (192) añadiendo la señal de salida y la señal de ángulo de potencia (192).
- 45
- 50

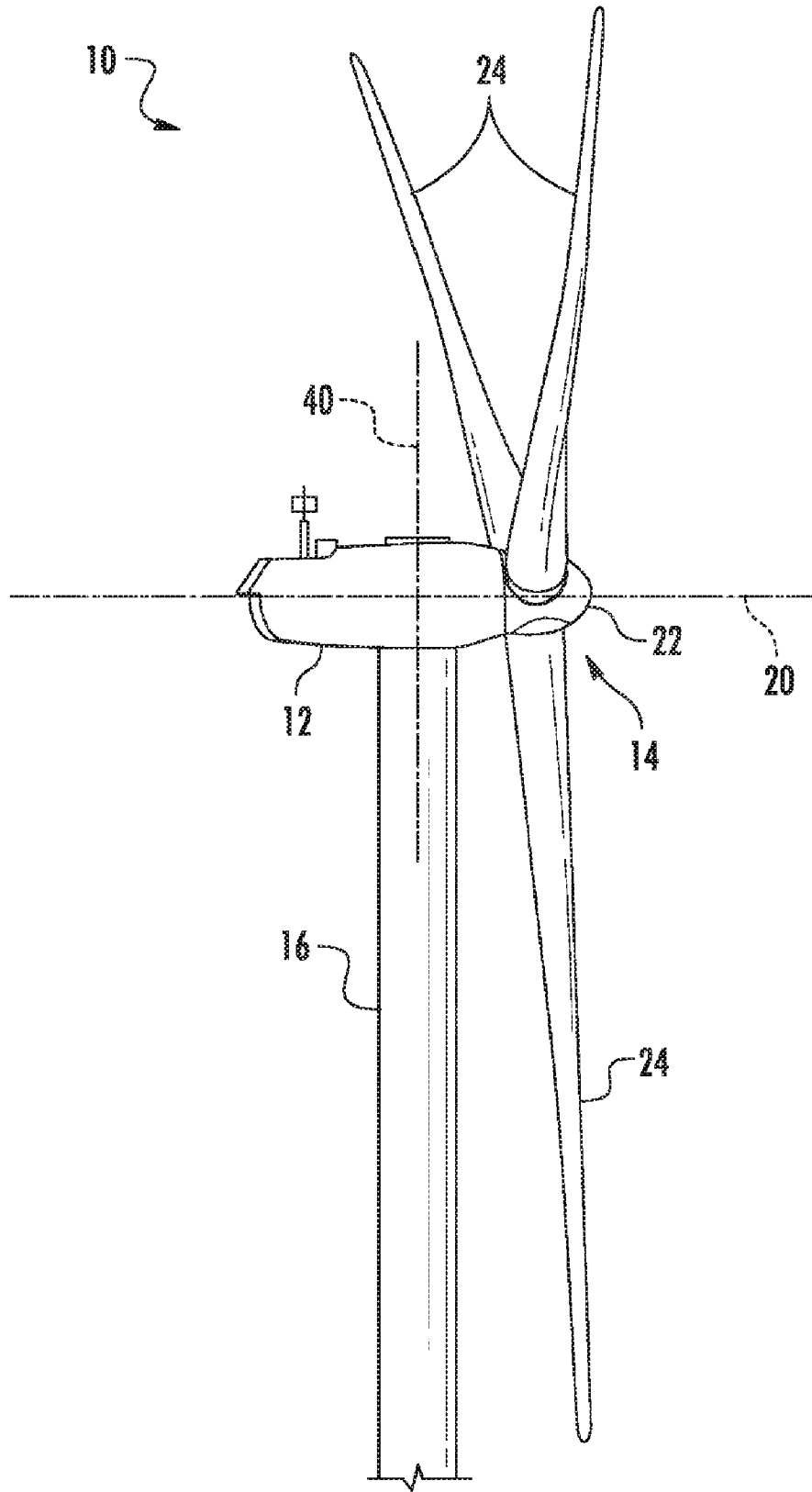
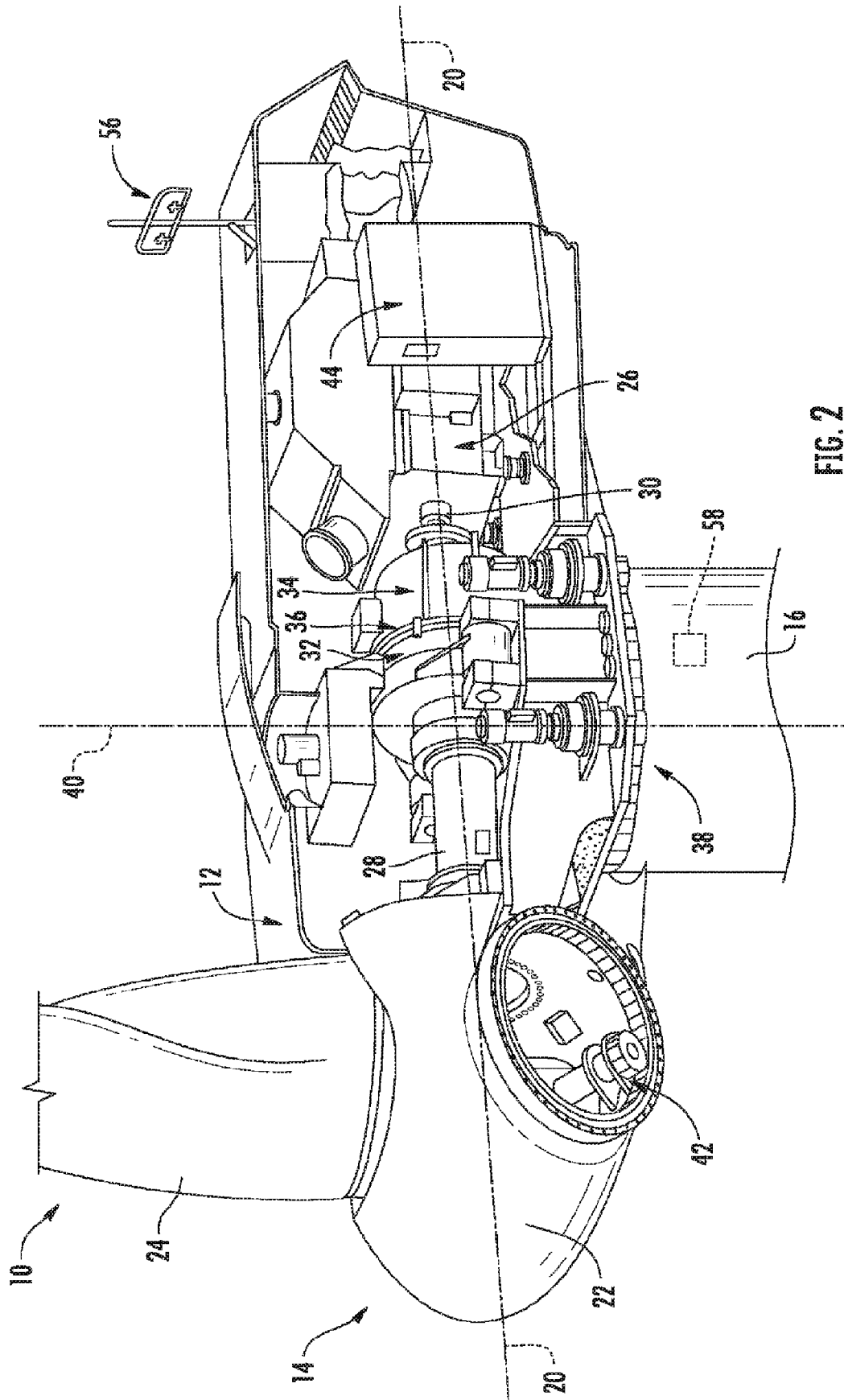


FIG. 1



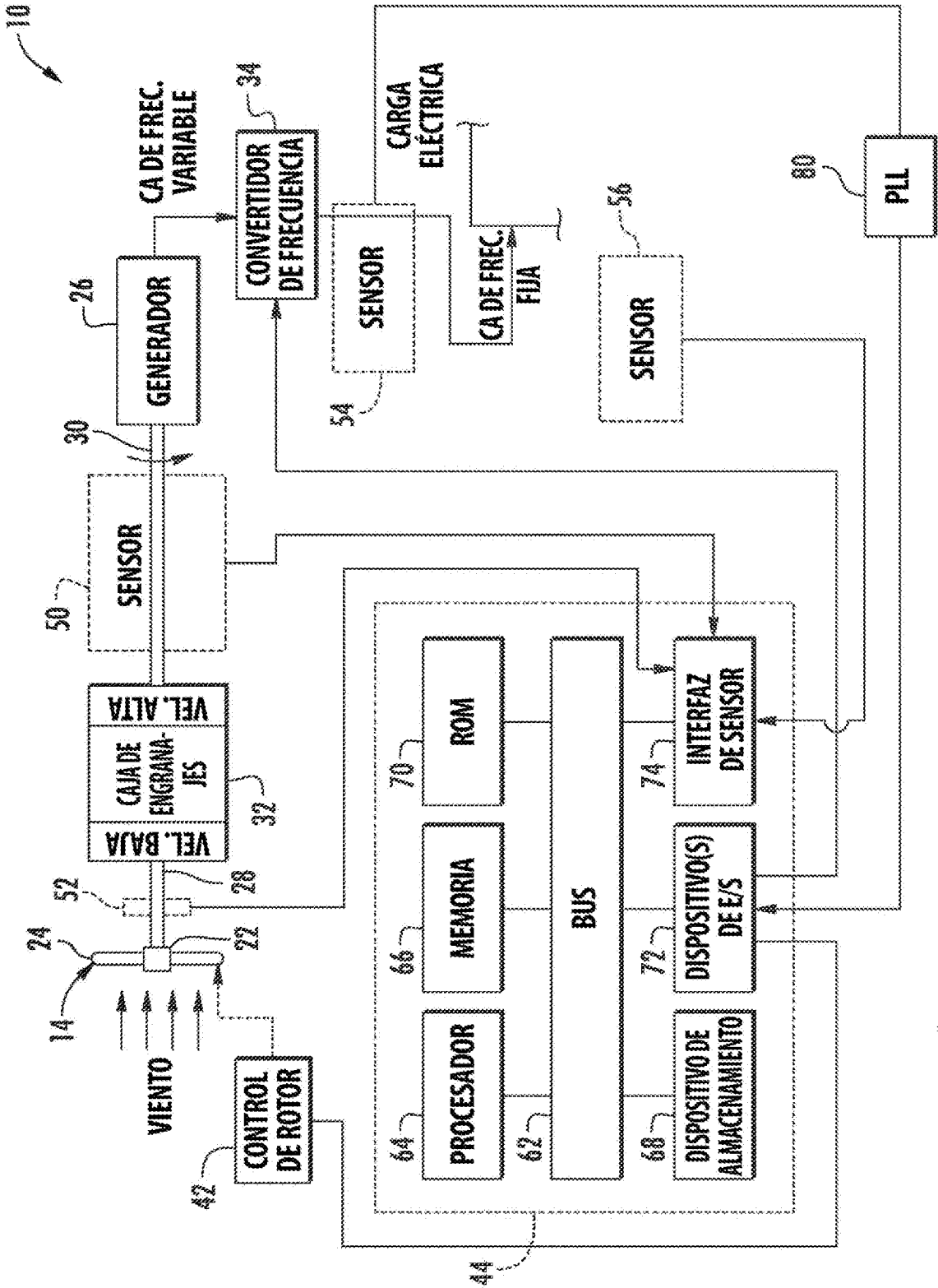


FIG. 3

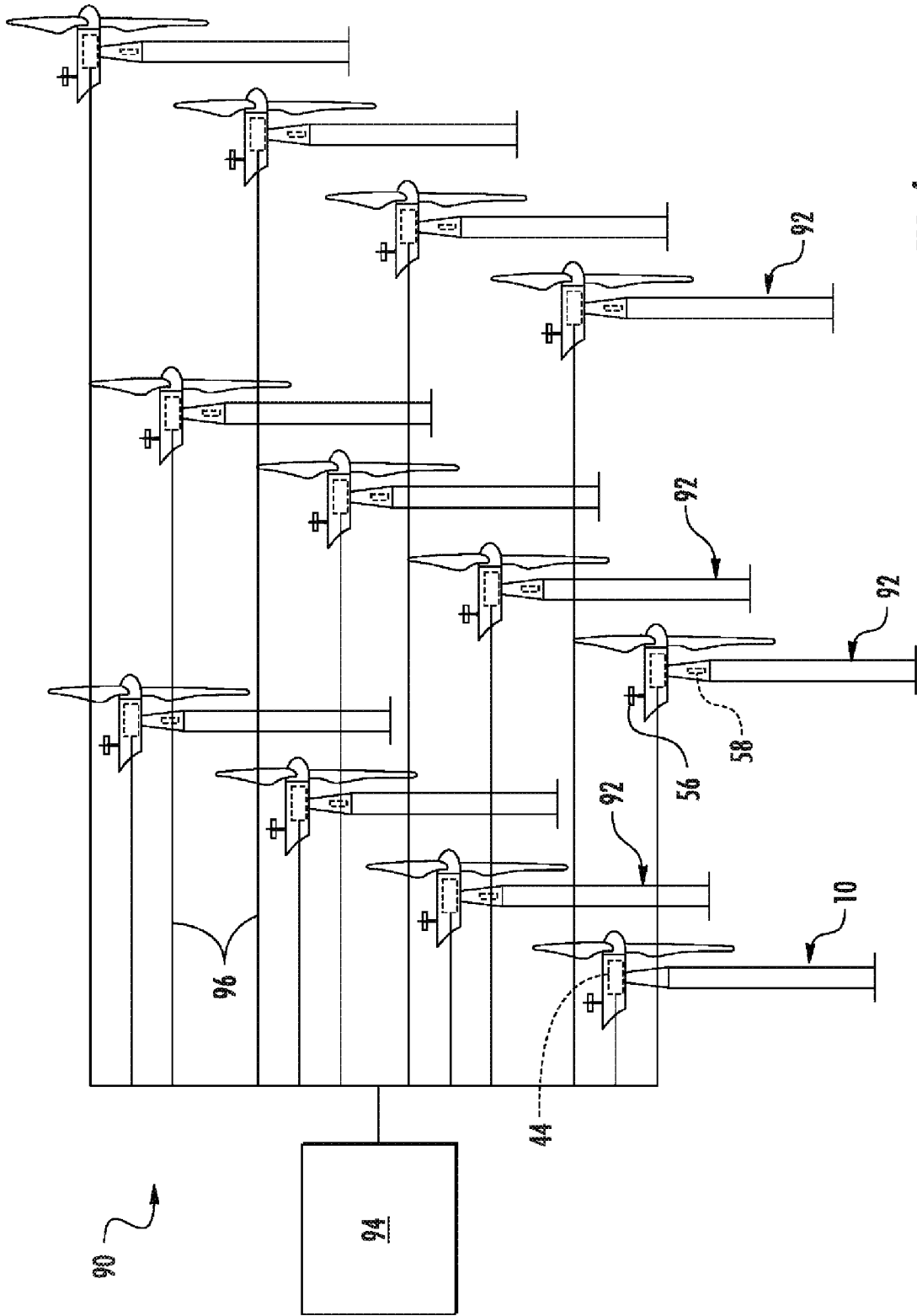


FIG. 4

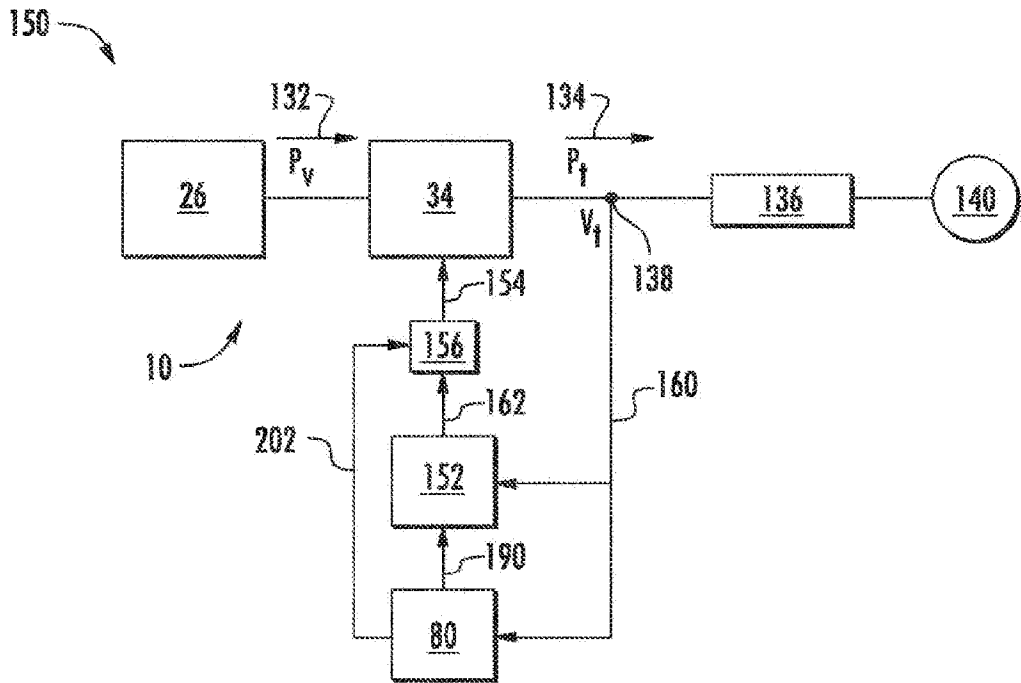


FIG. 5

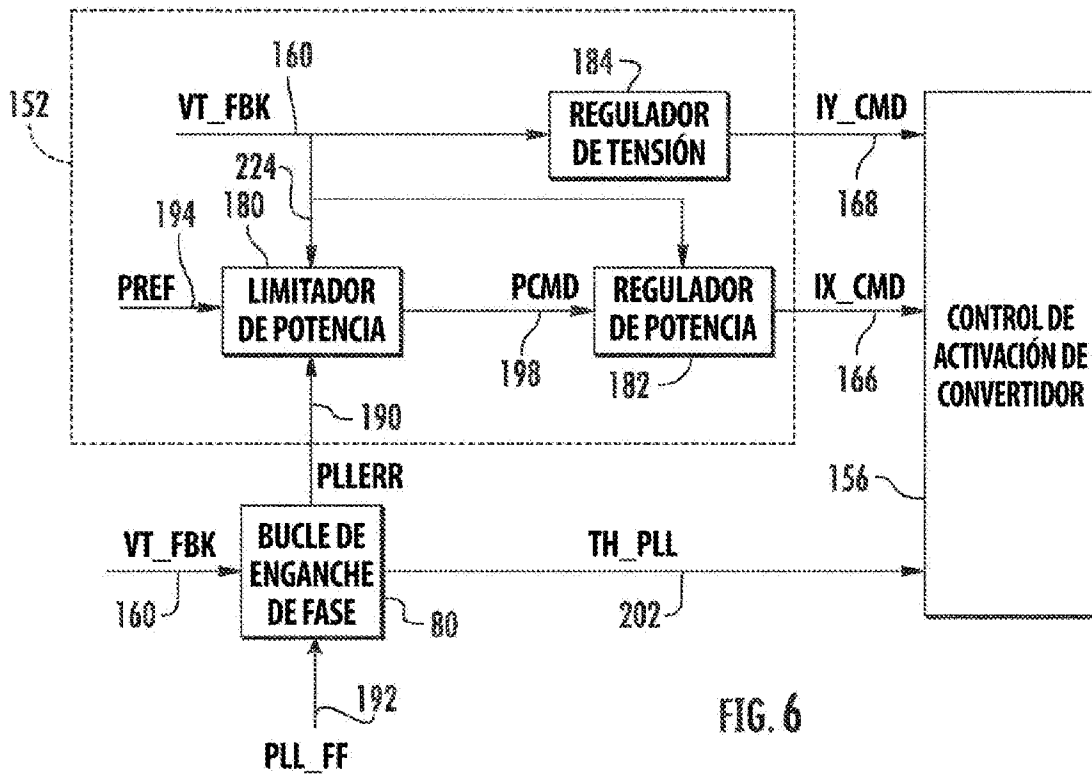


FIG. 6

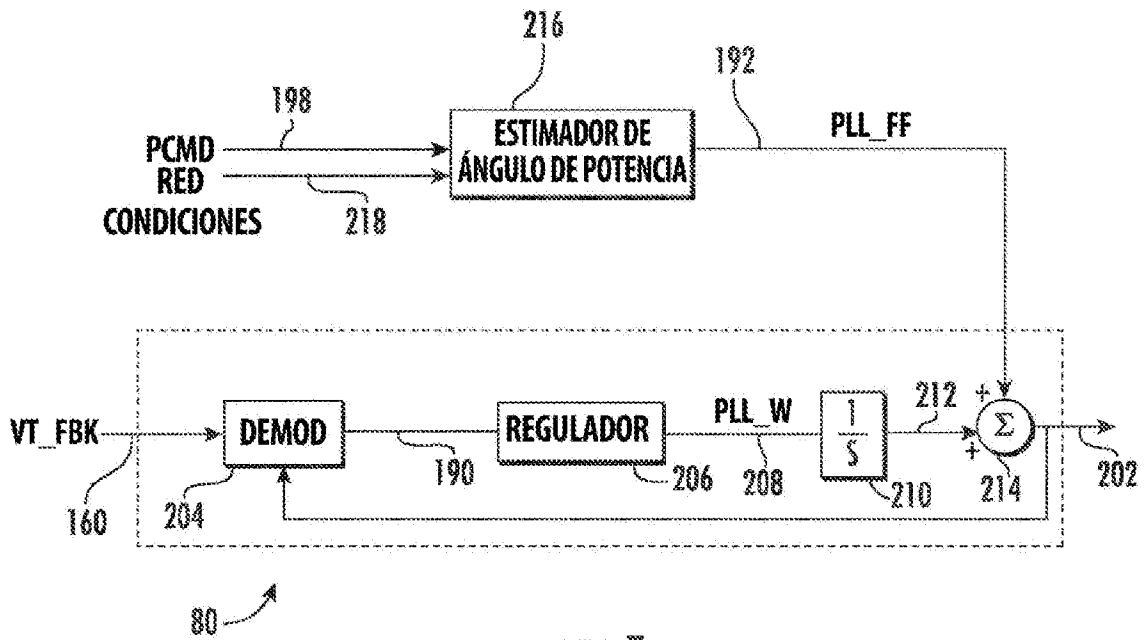


FIG. 7

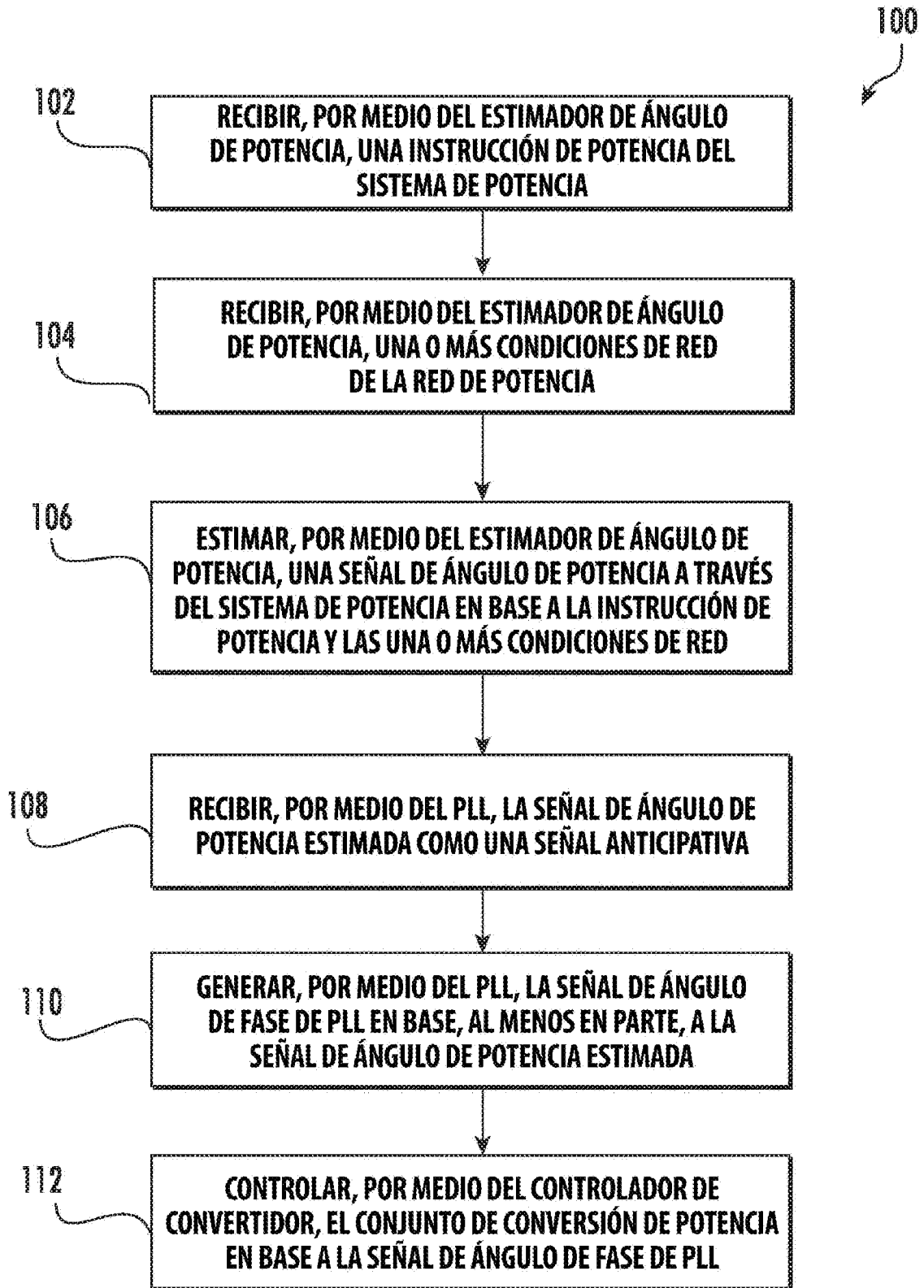


FIG. 8