

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 988 567**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)
H02J 3/16 (2006.01)
H02J 3/48 (2006.01)
H02J 3/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2020 E 20216151 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2024 EP 3846302**

54 Título: **Sistema y procedimiento para estabilizar redes débiles con uno o más parques eólicos conectados a las mismas**

30 Prioridad:

06.01.2020 US 202016734914

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

20.11.2024

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA,
S.L. (100.0%)
Calle Roc Boronat 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**SOHANI, APOORVA ANIL;
APPURAJ, KARTHIKEYAN y
SAGI, DEEPAK RAJ**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 988 567 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema y procedimiento para estabilizar redes débiles con uno o más parques eólicos conectados a las mismas

5 **Campo**

[0001] La presente divulgación se refiere, en general, a sistemas y procedimientos para controlar parques eólicos que tienen una o más turbinas eólicas, y, más en particular, a sistemas y procedimientos para estabilizar redes débiles con uno o más parques eólicos conectados a las mismas.

10

Antecedentes

[0002] La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medioambiente disponibles actualmente, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Se pueden utilizar sistemas de distribución de potencia eléctrica existentes (por ejemplo, redes eléctricas) para distribuir potencia de fuentes de energías renovables, tales como el viento, si se utilizan sistemas de control y metodologías para coordinar la potencia producida por las fuentes de energías renovables, la demanda de potencia en los sistemas de distribución de potencia y la potencia consumida en base a los estados operativos variables que sean inherentes con respecto a las fuentes de energías renovables. Por ejemplo, el estado operativo de una turbina eólica puede variar en base a las velocidades del viento o la ausencia de viento.

15

20

[0003] La energía eólica no siempre tiene una salida de potencia constante, sino que puede incluir variaciones; por lo tanto, los operadores de sistemas de distribución de potencia deben tener esto en cuenta. Una de las consecuencias, por ejemplo, es que las redes de distribución y transmisión se hayan vuelto más difíciles de gestionar. Esto también se aplica a la gestión de la resonancia en un sistema de distribución de potencia, incluyendo turbinas eólicas. Como las centrales de energía convencionales, las centrales de energía eólica o parques eólicos se deben gestionar o controlar para proporcionar a las redes eléctricas una potencia que sea estable (por ejemplo, con voltaje y frecuencia constantes, mínimas perturbaciones y baja emisión de armónicos) para garantizar la fiabilidad y el suministro apropiado de potencia.

25

30

[0004] Con respecto a las centrales de energías renovables, tales como parques eólicos, la conexión de estas centrales de energías renovables a la red puede incluir largas líneas de transmisión de alto voltaje debido a las localizaciones remotas en las que se pueden localizar estas centrales. Las líneas de transmisión (es decir, cables de alimentación) y la infraestructura eléctrica adicional (por ejemplo, transformadores, reactores, condensadores) pueden dar como resultado resonancia a bajas frecuencias (por ejemplo, por debajo del segundo o tercer armónico). Además, debido a las condiciones remotas o duras en las que se localizan muchos parques eólicos, los parques eólicos a menudo están integrados con redes débiles que se pueden ver afectadas negativamente por la resonancia, provocando, de este modo, un circuito sobrecargado en el punto de interconexión (POI). Como tal, se pueden producir oscilaciones en el voltaje del POI de fase.

35

40

[0005] En tales casos, la autoridad de la red requiere que los operadores de parques eólicos rebajen la potencia que se suministra a la red para garantizar una relación de cortocircuito (SCR) adecuada. Aunque esta acción garantiza la estabilidad de la red, también significa una pérdida de producción anual de energía (PAE) para el parque eólico. Además, la integración de recursos basados en inversor, tales como parques eólicos, en redes débiles puede presentar muchos desafíos, tales como la creación de la posibilidad de una condición de resonancia en el sistema, que se puede mitigar por diferentes procedimientos, incluyendo el refuerzo de las líneas de transmisión o la integración de equipos adicionales en la red para mejorar la intensidad. Estos procedimientos de refuerzo de la red incluyen desventajas, incluyendo requisitos de espacio adicional, múltiples localizaciones y configuraciones de control, costes de componentes del sistema incrementados, costes de instalación del sistema incrementados y costes de mantenimiento del sistema incrementados.

45

50

[0006] El documento WO2018/115431 describe el control de potencia activa y reactiva combinada en una operación de un parque eólico. El control implica en minimizar las desviaciones de voltaje local en comparación con los voltajes de referencia de bus local para cada conexión a las turbinas eólicas calculando coeficientes de sensibilidad para turbinas eólicas. El documento CN108879705A describe un procedimiento de control de voltaje reactivo de área de captación de energía eólica que considera la incertidumbre de la energía eólica. El procedimiento de control implica calcular la salida de potencia reactiva de un dispositivo de potencia reactiva de una estación de captación y conmutar el dispositivo de reactancia de la estación de captación de energía eólica.

55

60

[0007] En vista de lo anterior, los sistemas y procedimientos para estabilizar redes débiles donde uno o más parques eólicos estén conectados a las mismas sin afectar negativamente a la PAE serían bienvenidos en la técnica. Como tal, la presente divulgación está dirigida a estabilizar dinámicamente la red eléctrica usando el dominio de frecuencia y el aprendizaje automático.

65

Breve descripción

[0008] La invención está definida por las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes definen otros modos de realización de la invención.

5 **[0009]** Los aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden ser obvios a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de los modos de realización de ejemplo de la presente divulgación.

10 **[0010]** En un aspecto, la presente divulgación está dirigida a un procedimiento para controlar un sistema de potencia eléctrica de parque eólico. El sistema de potencia eléctrica de parque eólico incluye un controlador y una pluralidad de turbinas eólicas conectadas eléctricamente a una red eléctrica a través de un punto de interconexión. Cada turbina eólica incluye un regulador de voltaje. El procedimiento incluye recibir, por medio del controlador, una o más señales eléctricas asociadas con el punto de interconexión para un dominio de frecuencia. Además, el procedimiento incluye estimar, por medio de un estimador del controlador, una sensibilidad de voltaje de la red eléctrica usando las una o más señales eléctricas. Además, el procedimiento incluye controlar dinámicamente un voltaje del sistema de potencia eléctrica de parque eólico en el punto de interconexión en base a la sensibilidad de voltaje.

20 **[0011]** La(s) señal(es) eléctrica(s) incluye(n) al menos uno de: voltaje de fase, corriente de fase, potencia activa y/o potencia reactiva en el punto de interconexión.

25 **[0012]** Estimar la sensibilidad de voltaje de la red eléctrica usando la(s) señal(es) eléctrica(s) puede incluir, por ejemplo, modelar, por medio del controlador, la red eléctrica como un sistema lineal invariante en el tiempo para el dominio de frecuencia, monitorizar el dominio de frecuencia para determinar perturbaciones, determinar si las perturbaciones corresponden al sistema de potencia eléctrica de parque eólico o a sistemas de potencia eléctrica de parque eólico vecinos, y retirar las perturbaciones correspondientes a sistemas de potencia eléctrica de parque eólico vecinos para desacoplar un efecto de las perturbaciones sobre la sensibilidad de voltaje.

30 **[0013]** En otro modo de realización, el procedimiento puede incluir medir la(s) señal(es) eléctrica(s) por medio de al menos un sensor o determinar la(s) señal(es) eléctrica(s) por medio de un modelo implementado por ordenador del controlador.

35 **[0014]** En otros modos de realización, el procedimiento puede incluir procesar la(s) señal(es) eléctrica(s) asociada(s) con el punto de interconexión antes de estimar la sensibilidad de voltaje. Por ejemplo, en un modo de realización, el procesamiento de la(s) señal(es) eléctrica(s) puede incluir filtrado, clasificación o similares o combinaciones de las mismas.

40 **[0015]** Más específicamente, en un modo de realización, determinar si las perturbaciones corresponden al sistema de potencia eléctrica de parque eólico o a sistemas de potencia eléctrica de parque eólico vecinos puede incluir agrupar perturbaciones de al menos una de la potencia activa o la potencia reactiva con el voltaje de fase para el dominio de frecuencia y retirar las perturbaciones que no estén en grupos.

45 **[0016]** En un modo de realización, controlar dinámicamente el voltaje del sistema de potencia eléctrica de parque eólico en base a la sensibilidad de voltaje puede incluir variar al menos un parámetro de uno o más de los reguladores de voltaje para evitar la inestabilidad de la red eléctrica. En modos de realización particulares, el/los parámetro(s) puede(n) incluir, por ejemplo, una ganancia del regulador, una consigna de potencia activa, una consigna de potencia reactiva o combinaciones de las mismas, así como cualquier otro parámetro adecuado.

50 **[0017]** En varios modos de realización, el procedimiento puede incluir procesar, por medio de un posprocesador del controlador, la(s) señal(es) eléctrica(s) asociada(s) con el punto de interconexión después de controlar dinámicamente el voltaje del sistema de potencia eléctrica de parque eólico en base a la sensibilidad de voltaje para determinar un análisis de errores del/de los parámetro(s) del regulador de voltaje.

55 **[0018]** En otros modos de realización, el procedimiento también puede incluir recibir, por medio de un algoritmo de aprendizaje automático del controlador, retroalimentación desde el posprocesador y entrenar la retroalimentación por medio del algoritmo de aprendizaje automático. En dichos modos de realización, el procedimiento puede incluir generar una o más instrucciones de control para el estimador del controlador usando salidas del algoritmo de aprendizaje automático para actualizar continuamente el estimador.

60 **[0019]** En determinados modos de realización, el algoritmo de aprendizaje automático puede incluir una red neuronal entrenada, un modelo de regresión lineal simple, un modelo de regresión de bosque aleatorio o una máquina de vectores de soporte. Más específicamente, en un modo de realización, el procedimiento puede incluir incorporar una técnica de aprendizaje por refuerzo en el algoritmo de aprendizaje automático.

65 **[0020]** En determinados modos de realización, un tiempo de respuesta del estimador puede ser más rápido que el controlador y un tiempo de respuesta del controlador puede ser más rápido que la generación de la(s) instrucción/instrucciones de control desde el algoritmo de aprendizaje automático.

5 [0021] En otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a un sistema para controlar un sistema de potencia eléctrica de parque eólico. El sistema de potencia eléctrica de parque eólico incluye una pluralidad de turbinas eólicas conectadas eléctricamente a una red eléctrica a través de un punto de interconexión. Cada turbina eólica incluye un regulador de voltaje. El sistema incluye un controlador que tiene una pluralidad de procesadores que incluyen, al menos, un estimador. El estimador está configurado para realizar operaciones, incluyendo, por ejemplo, recibir una o más señales eléctricas asociadas con el punto de interconexión para un dominio de frecuencia y estimar una sensibilidad de voltaje de la red eléctrica usando las una o más señales eléctricas. Como tal, el controlador está configurado para controlar dinámicamente un voltaje del sistema de potencia eléctrica de parque eólico en el punto de interconexión en base a la sensibilidad de voltaje variando al menos un parámetro de uno o más de los reguladores de voltaje para evitar la inestabilidad de la red eléctrica. Se debe entender que el sistema puede incluir además cualquiera de los rasgos característicos adicionales descritos en el presente documento.

15 [0022] Estimar la sensibilidad de voltaje de la red eléctrica usando las una o más señales eléctricas comprende además: modelar, por medio del controlador, la red eléctrica como un sistema lineal invariante en el tiempo para el dominio de frecuencia; monitorizar el dominio de frecuencia para determinar perturbaciones; determinar si las perturbaciones corresponden al sistema de potencia eléctrica de parque eólico o a sistemas de potencia eléctrica de parque eólico vecinos; y retirar las perturbaciones correspondientes a sistemas de potencia eléctrica de parque eólico vecinos para desacoplar un efecto de las perturbaciones sobre la sensibilidad de voltaje.

20 [0023] Se pueden realizar variaciones y modificaciones en estos aspectos de ejemplo de la presente divulgación. Estos y otros rasgos característicos, aspectos y ventajas de diversos modos de realización se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la presente divulgación y, conjuntamente con la descripción, sirven para exponer los principios relacionados.

Breve descripción de los dibujos

30 [0024] El análisis detallado de los modos de realización dirigidos a un experto en la técnica se expone en la memoria descriptiva, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

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

35 la FIG. 2 ilustra un diagrama esquemático de un sistema de potencia eléctrica de turbina eólica de acuerdo con modos de realización de ejemplo de la presente divulgación que es adecuado para su uso con la turbina eólica mostrada en la FIG. 1;

40 la FIG. 3 ilustra un diagrama esquemático de un sistema de potencia eléctrica de parque eólico de acuerdo con modos de realización de ejemplo de la presente divulgación;

la FIG. 4 ilustra un diagrama de bloques de un controlador de acuerdo con modos de realización de ejemplo de la presente divulgación;

45 la FIG. 5 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para controlar un sistema de potencia eléctrica de parque eólico de la presente divulgación;

la FIG. 6 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema para controlar un sistema de potencia eléctrica de parque eólico de acuerdo con la presente divulgación;

50 la FIG. 7 ilustra un gráfico de un modo de realización de dominios de frecuencia para voltaje y potencia reactiva de acuerdo con modos de realización de ejemplo de la presente divulgación;

55 la FIG. 8 ilustra un gráfico de un modo de realización de dominios de frecuencia para voltaje y potencia activa de acuerdo con modos de realización de ejemplo de la presente divulgación;

la FIG. 9 ilustra un diagrama de control esquemático de un modo de realización del estimador del sistema para controlar un sistema de potencia eléctrica de parque eólico de acuerdo con la presente divulgación; y

60 la FIG. 10 ilustra un diagrama de control esquemático de otro modo de realización del estimador del sistema para controlar un sistema de potencia eléctrica de parque eólico de acuerdo con la presente divulgación.

Descripción detallada

65 [0025] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la divulgación, ilustrándose uno o más de sus ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la divulgación, no limitación

de la divulgación. De hecho, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas.

5 **[0026]** Con referencia ahora a las figuras, la FIG. 1 representa una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica 10 de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, la turbina eólica 10, en general, incluye una torre 12 que se extiende desde una superficie de soporte (no mostrada), una góndola 14, montada en la torre 12, y un rotor 16 acoplado a la góndola 14. El rotor 16 incluye un buje 18 rotatorio y al menos una pala de rotor 20 acoplada a y que se extiende hacia fuera del buje 18. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el rotor 16 incluye tres palas de rotor 20. Sin embargo, en un modo de realización alternativo, el rotor 16 puede incluir más o menos de tres palas de rotor 20. Cada pala de rotor 20 se puede espaciar alrededor del buje 18 para facilitar la rotación del rotor 16 para posibilitar que la energía cinética se transfiera desde el viento para convertirse en energía mecánica utilizable y, posteriormente, energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 18 se puede acoplar de forma rotatoria a un generador eléctrico 28 (FIG. 2) situado dentro de la góndola 14 para permitir que se produzca energía eléctrica.

20 **[0027]** En referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra un sistema de potencia de turbina eólica 100, que incluye la turbina eólica 10 y el sistema de potencia 102 asociado. A medida que el viento impacta en las palas de rotor 20, las palas 20 transforman la energía del viento en un par de torsión rotacional mecánico que acciona de forma rotatoria un eje lento 22. El eje de baja velocidad 22 está configurado para accionar una multiplicadora 24 (si la hubiera) que, posteriormente, aumenta la baja velocidad de rotación del eje de baja velocidad 22 para accionar un eje de alta velocidad 26 con una velocidad de rotación incrementada. El eje rápido 26, en general, está acoplado de forma rotatoria a un generador 28 (tal como un generador de inducción doblemente alimentado o DFIG) para accionar de forma rotatoria un rotor de generador 30. Como tal, se puede inducir un campo magnético rotatorio por el rotor de generador 30 y se puede inducir un voltaje dentro de un estátor de generador 32 que se acopla magnéticamente al rotor de generador 30. La potencia eléctrica asociada se puede transmitir desde el estátor de generador 32 a un transformador de tres devanados 34 principal que esté conectado a una red eléctrica en un POI 56 por medio de un disyuntor de red 36. Por tanto, el transformador 34 principal aumenta la amplitud de voltaje de la potencia eléctrica de modo que la potencia eléctrica transformada se pueda transmitir además a la red eléctrica.

30 **[0028]** Además, como se muestra, el generador 28 se puede acoplar eléctricamente a un convertidor de potencia bidireccional 38 que incluye un convertidor de lado de rotor 40 unido a un convertidor de lado de línea 42 por medio de un enlace de CC regulado 44. El convertidor de lado de rotor 40 convierte la potencia de CA proporcionada desde el rotor de generador 30 en potencia de CC y proporciona la potencia de CC al enlace de CC 44. El convertidor de lado de línea 42 convierte la potencia de CC del enlace de CC 44 en potencia de salida de CA adecuada para la red eléctrica. Por tanto, la potencia de CA del convertidor de potencia 38 se puede combinar con la potencia del estátor de generador 32 para proporcionar una potencia multifásica (por ejemplo, potencia trifásica) que tenga una frecuencia que se mantiene sustancialmente a la frecuencia de la red eléctrica (por ejemplo, 50 Hz/60 Hz).

40 **[0029]** En algunas configuraciones, el sistema de potencia 102 puede incluir un controlador a nivel de turbina 224 (mostrado en la FIG. 3). El controlador a nivel de turbina 224 puede ser un control, tal como el controlador mostrado y descrito en la FIG. 4.

45 **[0030]** El transformador de tres devanados 34 ilustrado puede tener (1) un devanado primario 33 de medio voltaje (MV) de 33 kilovoltios (kV) conectado a la red eléctrica, (2) un devanado secundario 35 de MT de 6 a 13,8 kV conectado al estátor de generador 32 y (3) un devanado terciario 37 de bajo voltaje (LV) de 690 a 900 voltios (V) conectado al convertidor de potencia de lado de línea 42.

50 **[0031]** En referencia, en particular, a la FIG. 3, se ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200 de acuerdo con modos de realización de ejemplo de la presente divulgación. Más específicamente, como se muestra, el sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200 puede incluir una pluralidad de sistemas de potencia de turbina eólica 100, conectados a una red eléctrica por medio de un POI 56. El sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200 puede incluir al menos dos agrupaciones 204 para formar un sistema de potencia eléctrica 200. Los sistemas de potencia de turbina eólica 100 individuales que incluyen una pluralidad de turbinas eólicas 10 se pueden disponer en localizaciones geográficas predeterminadas y conectar eléctricamente entre sí para formar un parque eólico 202.

60 **[0032]** La potencia eléctrica asociada con cada sistema de potencia de turbina eólica 100 se puede transmitir a una línea principal 206 por medio de una o más líneas de agrupación 220. Cada sistema de potencia de turbina eólica 100 se puede conectar o desconectar a las una o más líneas de agrupación 220 por medio de uno o más conmutadores o disyuntores 222. Los sistemas de potencia de turbina eólica 100 se pueden disponer en una pluralidad de grupos (o agrupaciones) 204 con cada grupo conectado por separado a una línea principal 206 por medio de los conmutadores 208, 210, 212, respectivamente. Por tanto, como se muestra, cada agrupación 204 se puede conectar a un transformador 214, 216, 218 separado por medio de los conmutadores 208, 210, 212, respectivamente, para aumentar la amplitud de voltaje de la potencia eléctrica de cada agrupación 204 de modo

que la potencia eléctrica transformada se pueda transmitir además a la red eléctrica. Además, como se muestra, los transformadores 214, 216, 218 están conectados a una línea principal 206 que combina el voltaje de cada agrupación 204 antes de enviar la potencia a la red por medio de un POI 56. El POI 56 puede ser un disyuntor, conmutador u otro procedimiento conocido de conexión a una red eléctrica.

[0033] Cada sistema de potencia de turbina eólica 100 puede incluir un regulador de voltaje 228 (es decir, un regulador de voltaje entre terminales de turbina eólica). Como tal, el regulador de voltaje 228 regula el voltaje que se emite por cada sistema de potencia de turbina eólica 100. Además, el regulador de voltaje 228 puede estar en comunicación eléctrica con el controlador de turbina 224 o controlador maestro central 226. Por tanto, el controlador a nivel de turbina 224 o controlador maestro central 226 puede emitir una instrucción de ganancia del regulador de voltaje (V_{CMD}) a uno o más de los reguladores de voltaje 228 que, a su vez, dicte la cantidad de potencia distribuida al POI 56 por medio de las líneas de agrupación 220.

[0034] Cada sistema de potencia de turbina eólica 100 puede incluir uno o más controladores, tales como el controlador de turbina 224. El controlador de turbina 224 se puede configurar para controlar los componentes del sistema de potencia de turbina eólica 100, incluyendo los conmutadores 222 o el regulador de voltaje 228, y/o implementar algunas o todas las etapas de procedimiento como se describe en el presente documento. El controlador de turbina 224 se puede localizar en o dentro de cada turbina eólica 10 o se puede localizar de forma remota con respecto a cada turbina eólica 10. El controlador de turbina 224 puede ser parte de o estar incluido con uno o más de los demás controladores asociados con el sistema de potencia de turbina eólica 100 y/o el sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200. El controlador de turbina 224 puede operar los conmutadores 222 para conectar o desconectar los uno o más sistemas de potencia de turbina eólica 100 de las líneas de agrupación 220 y controlar el regulador de voltaje 228, tal como la ganancia del regulador de voltaje, en base, al menos en parte, a la potencia requerida en el POI 56, y/o en base, al menos en parte, a las características del sistema de potencia de turbina eólica 100, el sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200 y/o las características de las turbinas eólicas 10 (por ejemplo, tamaño, localización, antigüedad, estado de mantenimiento de turbina eólica), de la red eléctrica (por ejemplo, intensidad o condición de la red, intensidad o condición de la conexión del parque eólico o turbina eólica a la red, arquitectura de la red, localización de la red), de la carga en la red (por ejemplo, cargas que sean pesados o variables) y/o las condiciones ambientales (por ejemplo, las condiciones de viento para las una o más turbinas eólicas).

[0035] El sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200 puede incluir uno o más controladores, tales como el controlador maestro central 226. El controlador maestro central 226 se puede configurar para controlar los componentes del sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200, incluyendo los conmutadores 208, 210 y 212, los reguladores de voltaje 228, comunicarse con uno o más de otros controladores, tales como los controladores a nivel de turbina 224, y/o implementar algunas o todas las etapas de procedimiento como se describe en el presente documento. El controlador maestro central 226 se puede localizar dentro del área geográfica del sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200, o cualquier parte del mismo, o se puede localizar de forma remota con respecto al sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200, o cualquier parte del mismo. El controlador maestro central 226 puede ser parte de o estar incluido con uno o más de los demás controladores asociados con uno o más de los sistemas de potencia de turbina eólica 100 y/o el sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200. Cada una de las agrupaciones 204, sistemas de potencia de turbina eólica 100 o controladores a nivel de turbina 224 se pueden acoplar en comunicación con un controlador maestro central 226.

[0036] El controlador maestro central 226 puede generar y enviar señales de control al controlador de turbina 224 para operar los conmutadores 222 para conectar o desconectar los uno o más sistemas de potencia de turbina eólica 100 de las líneas de agrupación 220 en base, al menos en parte, a la potencia requerida en el POI 56. El controlador maestro central 226 puede generar y enviar señales de control a los reguladores de voltaje 228 para operar o controlar los reguladores de voltaje 228 y controlar la cantidad de potencia suministrada al POI desde los uno o más sistemas de potencia de turbina eólica 100 a través de las líneas de agrupación 220 en base, al menos en parte, a la potencia requerida en el POI 56. El controlador maestro central 226 puede generar y enviar señales de control a los conmutadores 208, 210 y/o 212 y/o reguladores de voltaje 228 para regular la potencia suministrada al POI 56, en base, al menos en parte, a la potencia requerida en el POI 56, y/o en base, al menos en parte, a las características del sistema de potencia de turbina eólica 100, el sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200 y/o las características de las turbinas eólicas 10 (por ejemplo, tamaño, localización, antigüedad, estado de mantenimiento de turbina eólica), de la red eléctrica (por ejemplo, intensidad o condición de la red, intensidad o condición de la conexión del parque eólico o turbina eólica a la red, arquitectura de la red, localización de la red), de la carga en la red (por ejemplo, cargas que sean pesados o variables) y/o las condiciones ambientales (por ejemplo, las condiciones de viento para la una o más turbinas eólicas).

[0037] En referencia ahora a la FIG. 4, se ilustra un diagrama de bloques de un controlador 400 de acuerdo con modos de realización de ejemplo de la presente divulgación. Como se muestra, el controlador 400 puede ser un controlador a nivel de turbina 224 o un controlador maestro central 226. Además, como se muestra, el controlador 400 puede incluir uno o más procesadores 402 y dispositivos de memoria 404 asociados configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizando los procedimientos, etapas, cálculos y similares y almacenando datos pertinentes como se divulga en el presente documento). El

dispositivo de memoria 404 también puede almacenar la fecha pertinente para determinadas características del sistema de potencia de turbina eólica 100, sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200 y/o las características de las turbinas eólicas 10 (por ejemplo, tamaño, localización, antigüedad, estado de mantenimiento de turbina eólica), de la red eléctrica (por ejemplo, intensidad o condición de la red, intensidad o condición de la conexión del parque eólico o turbina eólica a la red, arquitectura de la red, localización de la red), de la carga en la red (por ejemplo, cargas que sean pesados o variables) y/o las condiciones ambientales (por ejemplo, las condiciones de viento para la una o más turbinas eólicas).

[0038] Adicionalmente, el controlador 400 puede incluir un módulo de comunicaciones 406 para facilitar las comunicaciones entre el controlador y los diversos componentes del sistema de potencia de turbina eólica 100, el sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200 y/o el controlador maestro central 226, incluyendo la comunicación entre el controlador maestro central 226 y el controlador a nivel de turbina 224. Además, el módulo de comunicaciones 406 puede incluir una interfaz de sensor 408 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores 410, 412 y 414 se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 402. Se pueden usar los sensores 410, 412 y 414 para medir, averiguar o recabar datos con respecto a las características del sistema de potencia de turbina eólica 100, el sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200 y/o las características de las turbinas eólicas 10 (por ejemplo, tamaño, localización, antigüedad, estado de mantenimiento de turbina eólica), de la red eléctrica (por ejemplo, intensidad o condición de la red, intensidad o condición de la conexión del parque eólico o turbina eólica a la red, arquitectura de la red, localización de la red), de la carga en la red (por ejemplo, cargas que sean pesados o variables) y/o las condiciones ambientales (por ejemplo, las condiciones de viento para la una o más turbinas eólicas).

[0039] Todavía en referencia a la FIG. 4, el controlador 400 también puede incluir una interfaz de usuario 416. La interfaz de usuario 416 puede tener diversas configuraciones y los controles se pueden montar en la interfaz de usuario 416. La interfaz de usuario 416 también se puede localizar dentro del área geográfica del sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200, o cualquier parte del mismo, o se puede localizar de forma remota con respecto al sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200, o cualquier parte del mismo. La interfaz de usuario 416 puede incluir un componente de entrada 418. El componente de entrada 418 puede ser, por ejemplo, una pantalla táctil capacitiva. El componente de entrada 418 puede permitir la activación, ajuste o control selectivos del controlador de parque eólico 226 y controlador de turbina 224, así como cualquier rasgo característico del temporizador u otras entradas ajustables por el usuario. También se pueden usar individualmente o en combinación uno o más de una variedad de dispositivos de entrada eléctricos, mecánicos o electromecánicos, incluyendo discos selectores, botones pulsadores y tableros gráficos táctiles, como componente de entrada 418. La interfaz de usuario 416 puede incluir un componente de visualización, tal como un dispositivo de visualización digital o analógico diseñado para proporcionar retroalimentación de operación a un usuario.

[0040] Se debe apreciar que los sensores 410, 412, 414 se pueden acoplar en comunicación al módulo de comunicaciones 406 usando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, los sensores 410, 412 y 414 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 408 por medio de una conexión por cable. Sin embargo, en otros modos de realización, los sensores 410, 412 y 414 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 408 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Como tal, el procesador 402 se puede configurar para recibir una o más señales de los sensores 410, 412 y 414. Los sensores 410, 412 y 414 pueden ser parte de o estar incluidos con uno o más de los demás controladores asociados con uno o más de los sistemas de potencia de turbina eólica 100 y/o el sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200. Los sensores 410, 412 y 414 también se pueden localizar dentro del área geográfica del sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200, o cualquier parte del mismo, o se pueden localizar de forma remota con respecto al sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200, o cualquier parte del mismo.

[0041] También se debe entender que los sensores 410, 412 y 414 pueden ser cualquier serie o tipo de sensores de voltaje y/o de corriente eléctrica que se pueden emplear dentro de los sistemas de potencia de turbina eólica 100 y en cualquier localización. Por ejemplo, los sensores pueden ser transformadores de corriente, sensores de derivación, bobinas de Rogowski, sensores de corriente de efecto Hall, unidades de mediciones microinerciales (MIMU), o similares, y/o cualquier otro sensor de voltaje o de corriente eléctrica adecuado conocido ahora o desarrollado más tarde en la técnica. Por tanto, los uno o más controladores, tales como el controlador de parque eólico 226 y el controlador de turbina 224, están configurados para recibir una o más señales de retroalimentación de voltaje y/o corriente eléctrica de los sensores 410, 412 y 414.

[0042] Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como incluidos en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador de lógica programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables. El procesador 402 también está configurado para calcular algoritmos de control avanzados y comunicarse con una variedad de protocolos basados en Ethernet o en serie (Modbus, OPC, CAN, etc.). Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 404 puede(n) incluir, en general, elemento(s) de memoria que incluye(n), pero sin limitarse a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio (RAM)), un medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria *flash*),

un disquete, una memoria de solo lectura en disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 140 se puede(n) configurar, en general, para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 402, configuran el controlador para realizar las diversas funciones como se describe en el presente documento.

[0043] En referencia ahora a la FIGS. 5 y 6, se ilustran, respectivamente, un procedimiento 500 y un sistema 600 para controlar un sistema de potencia eléctrica de parque eólico de acuerdo con la presente divulgación. Más específicamente, la FIG. 5 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 500 para controlar un sistema de potencia eléctrica de parque eólico de acuerdo con la presente divulgación, mientras que la FIG. 6 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema 600 para controlar un sistema de potencia eléctrica de parque eólico de acuerdo con la presente divulgación.

[0044] En general, el procedimiento 500 y el sistema 600 se describirán en el presente documento con referencia a la turbina eólica 10, el sistema de potencia de turbina eólica 100, el sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200 y los diversos controladores ilustrados en las FIGS. 1-4. Sin embargo, se debe apreciar que el procedimiento 500 y el sistema 600 divulgados se pueden implementar con turbinas eólicas y parques eólicos que tengan cualquier otra configuración adecuada.

[0045] Además, aunque la FIG. 5 representa las etapas realizadas en un orden particular para propósitos de ilustración y análisis, los procedimientos analizados en el presente documento no se limitan a ningún orden o disposición particular. Un experto en la técnica, usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, apreciará que diversas etapas de los procedimientos divulgados en el presente documento se pueden omitir, reorganizar, combinar y/o adaptar de diversas maneras sin desviarse del alcance de la presente divulgación. Además, se debe entender que el procedimiento 500 se puede realizar por uno o más controladores, tales como el controlador maestro central 226 y/o el controlador a nivel de turbina 224, y por los demás dispositivos incluidos con un sistema de potencia de turbina eólica 100 y/o sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200.

[0046] En referencia, en particular, a la FIG. 5, como se muestra en (502), el procedimiento 500 incluye recibir, por ejemplo, por medio del controlador maestro 226, una o más señales eléctricas asociadas con el punto de interconexión 56 para un dominio de frecuencia. Por ejemplo, en un modo de realización, como se muestra en la FIG. 6, un preprocesador 602 del controlador 226 puede recibir la(s) señal(es) eléctrica(s) 603 desde el punto de interconexión 56. Además, en un modo de realización, la(s) señal(es) eléctrica(s) puede(n) incluir uno cualquiera de o una combinación de los siguiente: voltaje de fase, corriente de fase, potencia activa y/o potencia reactiva en el punto de interconexión 56. Además, en determinados modos de realización, el procedimiento 500 puede incluir medir la(s) señal(es) eléctrica(s) por medio de al menos un sensor, tal como uno de los sensores 410, 412, 414. De forma alternativa, el procedimiento 500 puede incluir determinar o estimar la(s) señal(es) eléctrica(s) por medio de un modelo implementado por ordenador del controlador 226.

[0047] Como se muestra en (504), el procedimiento 500 incluye estimar, por medio de un estimador 604 del controlador 226, una sensibilidad de voltaje (por ejemplo, una intensidad de red) de la red eléctrica usando la(s) señal(es) eléctrica(s). En otros modos de realización, el procedimiento 500 puede incluir procesar la(s) señal(es) eléctrica(s) asociada(s) con el punto de interconexión 56 antes de estimar la sensibilidad de voltaje. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 6, el preprocesador 602 puede filtrar, clasificar o similares o combinaciones de las mismas de la(s) señal(es) eléctrica(s).

[0048] En modos de realización particulares, el controlador 226 está configurado para estimar la sensibilidad de voltaje de la red eléctrica modelando la red eléctrica como un sistema lineal invariante en el tiempo para el dominio de frecuencia (por ejemplo, que tenga cortos intervalos de medición y pequeñas perturbaciones de señales lineales). Por ejemplo, como se muestra en la FIGS. 7 y 8, el controlador 226 se puede configurar para generar dominios de frecuencia 700, 800 para la(s) señal(es) eléctrica(s). Más en particular, como se muestra, la FIG. 7 ilustra dominios de frecuencia para voltaje y potencia reactiva, mientras que la FIG. 8 ilustra dominios de frecuencia para voltaje y potencia activa. Puesto que el sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200 tendrá perturbaciones en la potencia activa debido a variaciones de la velocidad del viento y existen frecuencias de perturbaciones en la potencia activa y reactiva para parques eólicos individuales, el controlador 226 puede monitorizar fácilmente el dominio de frecuencia para determinar perturbaciones. Más específicamente, una perturbación en la potencia activa o reactiva a una frecuencia particular se traduce en una respuesta de voltaje a la misma frecuencia.

[0049] Por tanto, como se muestra en la FIG. 7, el controlador 226 está configurado para identificar los pares de respuesta correspondientes de voltaje y potencia reactiva (como se indica por medio de las flechas 702, 704). De forma similar, como se muestra en la FIG. 8, el controlador 226 está configurado para identificar los pares de respuesta correspondientes de voltaje y potencia activa (como se indica por medio de las flechas 802, 804). En otras palabras, el controlador 226 está configurado para agrupar perturbaciones de potencia activa y/o potencia reactiva con el voltaje de fase para el dominio de frecuencia. Por lo tanto, el controlador 226 puede determinar si las perturbaciones corresponden al sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200 o a sistemas de potencia

eléctrica de parque eólico vecinos. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador 226 puede identificar perturbaciones que no estén en grupos o pares como aquellas correspondientes a perturbaciones de sistemas de potencia eléctrica de parque eólico vecinos. En consecuencia, el controlador 226 puede retirar las perturbaciones (tales como las perturbaciones 706, 806) correspondientes a sistemas de potencia eléctrica de parque eólico vecinos para desacoplar un efecto de las perturbaciones 706, 806 sobre la sensibilidad de voltaje.

[0050] En referencia de nuevo a la FIG. 6, el sistema 600 también puede incluir un posprocesador 608 para procesar la(s) señal(es) eléctrica(s) asociada(s) con el punto de interconexión 56 después de estimar la sensibilidad de voltaje de la red eléctrica, por ejemplo, para determinar un análisis de errores del/los parámetro(s) del/los regulador(es) de voltaje 228.

[0051] En consecuencia, como se muestra en la FIG. 5 en (506), el procedimiento 500 incluye controlar dinámicamente un voltaje del sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200 en el punto de interconexión 56 en base a la sensibilidad de voltaje. Por ejemplo, en un modo de realización, como se muestra en la FIG. 6, el controlador 226 puede incluir un controlador de voltaje 606 configurado para controlar dinámicamente el voltaje del sistema de potencia eléctrica de parque eólico 200 variando al menos un parámetro de uno o más de los reguladores de voltaje 228 de los sistemas de potencia de turbina eólica 100 individuales del parque eólico 200 para evitar la inestabilidad de la red eléctrica. En modos de realización particulares, por ejemplo, el/los parámetro(s) puede(n) incluir, por ejemplo, una ganancia del regulador, una consigna de potencia activa, una consigna de potencia reactiva o combinaciones de las mismas, así como cualquier otro parámetro adecuado.

[0052] En referencia ahora a la FIGS. 9 y 10, se ilustran los diagramas de control 900, 1000 de diversos modos de realización para variar las consignas de potencia reactiva y potencia activa (Q_{SP} y P_{SP}), respectivamente, de uno o más de los reguladores de voltaje 228 de los sistemas de potencia de turbina eólica 100 individuales del parque eólico 200 para evitar la inestabilidad de la red eléctrica. Además, como se muestra en la FIGS. 9 y 10, los diagramas de control 900, 1000 pueden incluir controladores proporcionales integrales (PI) 906, 1006. Como tales, los esquemas de control 900, 1000 pueden adaptar dinámicamente las ganancias del regulador asociadas con los controladores PI 906, 1006. Más en particular, como se muestra, los diagramas de control ilustran la implementación del control de voltaje anticipativo en base a las salidas 902, 1002 del estimador 604. Por tanto, como se muestra en los bloques 904 y 1004, respectivamente, ΔQ y ΔP se pueden calcular como una función de las sensibilidades de voltaje (por ejemplo, dQ/dV , dP/dV) del estimador 604. Más específicamente, como se muestra en el bloque 904 en la FIG. 9, ΔQ se puede calcular como una función, al menos, una ganancia (α_1) que se puede adaptar a un parque eólico particular, la consigna de voltaje (V_{sp}), el voltaje real (V_{act}), y la sensibilidad de voltaje (dQ/dV) del estimador 604. De forma similar, como se muestra en el bloque 1004 en la FIG. 10, ΔP se puede calcular como una función, al menos, una ganancia (α_2) que se puede adaptar a un parque eólico particular, la consigna de voltaje (V_{sp}), el voltaje real (V_{act}), y la sensibilidad de voltaje (dP/dV) del estimador 604. Además, se debe entender que α_1 y α_2 se pueden alterar dinámicamente por un algoritmo de aprendizaje automático en las ejecuciones de bucle cerrado, dependiendo del análisis de errores del posprocesador.

[0053] Por tanto, en determinados modos de realización, el controlador 226 está configurado para distribuir las consignas ajustadas para la potencia activa y reactiva (Q_{SP} y P_{SP}) para lograr la respuesta de voltaje deseada. Como tal, la respuesta de los parques eólicos se puede registrar para procesar los datos y proporcionar retroalimentación a un algoritmo basado en aprendizaje automático para tomar otras decisiones. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 6, el sistema 600 puede incluir un algoritmo de aprendizaje automático 610 que recibe retroalimentación 612 desde el posprocesador 608 y entrena la retroalimentación 612. En dichos modos de realización, como se muestra, el algoritmo de aprendizaje automático 610 está configurado para generar una o más instrucciones de control 614 para que el estimador 604 del controlador 226 actualice continuamente el estimador 604.

[0054] Por ejemplo, en un modo de realización, la(s) instrucción/instrucciones de control 614 puede(n) incluir las ganancias α_1 y α_2 usadas para agrupar las señales para el dominio de frecuencia de las señales eléctricas medidas, así como los umbrales establecidos para filtrar las señales para el dominio de frecuencia no deseadas que se van a agrupar. Además, la(s) instrucción/instrucciones de control 614 puede(n) incluir algunos ajustes a los parámetros del preprocesador, tales como el intervalo de muestreo para el análisis, el número de muestras consideradas a la vez para la estimación, etc. En otras palabras, el algoritmo de aprendizaje automático 610 está configurado para ajustar cualquier parámetro descrito en el presente documento para reducir el error calculado por el posprocesador (siendo el error la diferencia entre el voltaje real medido y el voltaje estimado usando las sensibilidades de voltaje). Como tal, un objetivo del algoritmo de aprendizaje automático 610 es hacer que el sistema 600 sea adaptable y sólido en caso de situaciones de redes débiles.

[0055] En modos de realización particulares, el tiempo de respuesta del estimador 604 puede ser más rápido que el controlador 226, que es más rápido que las instrucciones 614 que proceden del algoritmo de aprendizaje automático 610. Además, en un modo de realización, el algoritmo de aprendizaje automático 610 puede ser una red neuronal entrenada, un modelo de regresión lineal simple, un modelo de regresión de bosque aleatorio, una máquina de vectores de soporte o cualquier tipo adecuado de modelo de aprendizaje supervisado en base a la calidad y cantidad de datos recibidos. Más específicamente, en un modo de realización, el procedimiento puede

incluir incorporar una técnica de aprendizaje por refuerzo en el algoritmo de aprendizaje automático 610.

[0056] De acuerdo con un ejemplo, las una o más señales eléctricas comprenden al menos uno de voltaje de fase, corriente de fase, potencia activa y potencia reactiva en el punto de interconexión.

5

[0057] De acuerdo con un ejemplo, la pluralidad de procesadores comprende además un preprocesador para procesar las una o más señales eléctricas asociadas con el punto de interconexión antes de estimar la sensibilidad de voltaje.

10 **[0058]** De acuerdo con un ejemplo, estimar la sensibilidad de voltaje de la red eléctrica usando las una o más señales eléctricas comprende además:

modelar la red eléctrica como un sistema lineal invariante en el tiempo para el dominio de frecuencia;

15 monitorizar el dominio de frecuencia para determinar perturbaciones;

determinar si las perturbaciones corresponden al sistema de potencia eléctrica de parque eólico o a sistemas de potencia eléctrica de parque eólico vecinos; y,

20 retirar las perturbaciones correspondientes a sistemas de potencia eléctrica de parque eólico vecinos para desacoplar un efecto de las perturbaciones sobre la sensibilidad de voltaje.

[0059] De acuerdo con un ejemplo, la pluralidad de procesadores comprende además un posprocesador para procesar las una o más señales eléctricas asociadas con el punto de interconexión después de controlar dinámicamente el voltaje del sistema de potencia eléctrica de parque eólico en base a la sensibilidad de voltaje para determinar un análisis de errores de los uno o más parámetros del regulador de voltaje.

25

[0060] De acuerdo con un ejemplo, la pluralidad de procesadores comprende además un algoritmo de aprendizaje automático configurado para recibir y entrenar la retroalimentación desde el posprocesador y generar una o más instrucciones de control para que el estimador actualice continuamente el estimador.

30

[0061] Esta descripción escrita 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. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos se les ocurran a los expertos en la técnica. Se pretende que dichos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si incluyen elementos estructurales que no difieren del texto literal de las reivindicaciones.

35

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para controlar un sistema de potencia eléctrica de parque eólico, en el que el sistema de potencia eléctrica de parque eólico incluye un controlador, una pluralidad de turbinas eólicas conectadas eléctricamente a una red eléctrica a través de un punto de interconexión, y en el que cada turbina eólica incluye un regulador de voltaje, comprendiendo el procedimiento:
- 5
- recibir (502), por medio del controlador, una o más señales eléctricas asociadas con el punto de interconexión para un dominio de frecuencia;
- 10
- estimar (504), por medio de un estimador del controlador, una sensibilidad de voltaje de la red eléctrica usando las una o más señales eléctricas; y,
- 15
- controlar dinámicamente (506) un voltaje del sistema de potencia eléctrica de parque eólico en el punto de interconexión en base a la sensibilidad de voltaje;
- en el que las una o más señales eléctricas comprenden al menos uno de voltaje de fase, corriente de fase, potencia activa y potencia reactiva en el punto de interconexión;
- 20
- y en el que estimar la sensibilidad de voltaje de la red eléctrica usando las una o más señales eléctricas comprende además:
- modelar, por medio del controlador, la red eléctrica como un sistema lineal invariante en el tiempo para el dominio de frecuencia;
- 25
- monitorizar el dominio de frecuencia para determinar perturbaciones;
- determinar si las perturbaciones corresponden al sistema de potencia eléctrica de parque eólico o a sistemas de potencia eléctrica de parque eólico vecinos; y,
- 30
- retirar las perturbaciones correspondientes a sistemas de potencia eléctrica de parque eólico vecinos para desacoplar un efecto de las perturbaciones sobre la sensibilidad de voltaje.
2. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además al menos uno de medir las una o más señales eléctricas por medio de al menos un sensor o determinar las una o más señales eléctricas por medio de un modelo implementado por ordenador del controlador.
- 35
3. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además procesar las una o más señales eléctricas asociadas con el punto de interconexión antes de estimar la sensibilidad de voltaje, en el que procesar las una o más señales eléctricas comprende al menos uno de filtrado o clasificación.
- 40
4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que determinar si las perturbaciones corresponden al sistema de potencia eléctrica de parque eólico o a sistemas de potencia eléctrica de parque eólico vecinos comprende además:
- 45
- agrupar perturbaciones de al menos una de la potencia activa o la potencia reactiva con el voltaje de fase para el dominio de frecuencia; y,
- retirar las perturbaciones que no estén en grupos.
- 50
5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que controlar dinámicamente el voltaje del sistema de potencia eléctrica de parque eólico en base a la sensibilidad de voltaje comprende además:
- 55
- variar al menos un parámetro de uno o más de los reguladores de voltaje para evitar la inestabilidad de la red eléctrica.
6. El procedimiento de la reivindicación 5, en el que el al menos un parámetro comprende al menos una de una ganancia del regulador, una consigna de potencia activa o una consigna de potencia reactiva.
- 60
7. El procedimiento de la reivindicación 5, que comprende además procesar, por medio de un posprocesador del controlador, las una o más señales eléctricas asociadas con el punto de interconexión después de controlar dinámicamente el voltaje del sistema de potencia eléctrica de parque eólico en base a la sensibilidad de voltaje para determinar una análisis de errores de los uno o más parámetros del regulador de voltaje.
- 65
8. El procedimiento de la reivindicación 7, que comprende además:

recibir, por medio de un algoritmo de aprendizaje automático del controlador, retroalimentación desde el posprocesador; y,

5 entrenar la retroalimentación por medio del algoritmo de aprendizaje automático.

9. El procedimiento de la reivindicación 8, que comprende además generar una o más instrucciones de control para el estimador del controlador usando salidas del algoritmo de aprendizaje automático para actualizar continuamente el estimador.

10 10. El procedimiento de la reivindicación 9, en el que un tiempo de respuesta del estimador es más rápido que el controlador y un tiempo de respuesta del controlador es más rápido que la generación de las una o más instrucciones de control desde el algoritmo de aprendizaje automático.

15 11. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que el algoritmo de aprendizaje automático comprende una red neuronal entrenada, un modelo de regresión lineal simple, un modelo de regresión de bosque aleatorio o una máquina de vectores de soporte.

20 12. El procedimiento de la reivindicación 8, que comprende además incorporar una técnica de aprendizaje por refuerzo en el algoritmo de aprendizaje automático.

25 13. Un sistema para controlar un sistema de potencia eléctrica de parque eólico, en el que el sistema de potencia eléctrica de parque eólico incluye una pluralidad de turbinas eólicas conectadas eléctricamente a una red eléctrica a través de un punto de interconexión, y en el que cada turbina eólica incluye un regulador de voltaje, comprendiendo el sistema:

un controlador que comprende una pluralidad de procesadores, comprendiendo la pluralidad de procesadores, al menos, un estimador, el estimador configurado para realizar operaciones, comprendiendo las operaciones:

30 recibir (502) una o más señales eléctricas asociadas con el punto de interconexión para un dominio de frecuencia; y,

35 estimar (504) una sensibilidad de voltaje de la red eléctrica usando las una o más señales eléctricas;

40 en el que el controlador está configurado para controlar dinámicamente (506) un voltaje del sistema de potencia eléctrica de parque eólico en el punto de interconexión en base a la sensibilidad de voltaje variando al menos un parámetro de uno o más de los reguladores de voltaje para evitar la inestabilidad de la red eléctrica;

y en el que estimar la sensibilidad de voltaje de la red eléctrica usando las una o más señales eléctricas comprende además:

45 modelar, por medio del controlador, la red eléctrica como un sistema lineal invariante en el tiempo para el dominio de frecuencia;

monitorizar el dominio de frecuencia para determinar perturbaciones;

50 determinar si las perturbaciones corresponden al sistema de potencia eléctrica de parque eólico o a sistemas de potencia eléctrica de parque eólico vecinos; y,

retirar las perturbaciones correspondientes a sistemas de potencia eléctrica de parque eólico vecinos para desacoplar un efecto de las perturbaciones sobre la sensibilidad de voltaje

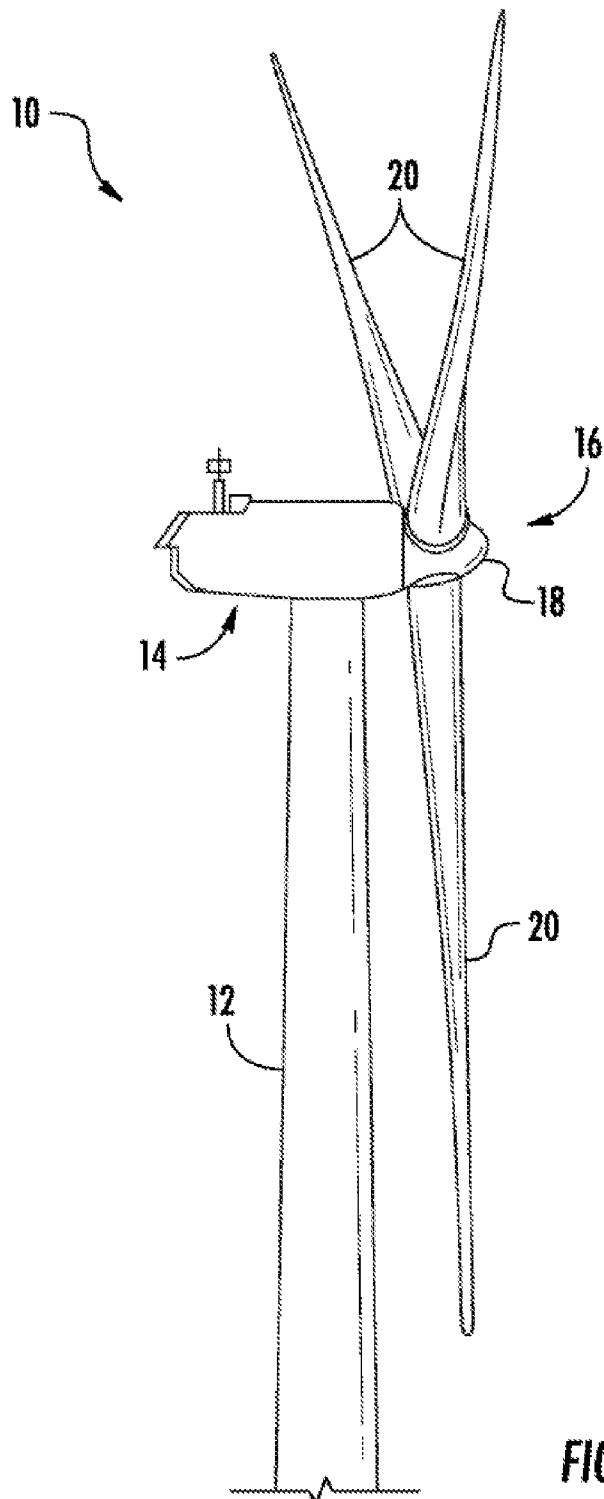


FIG. 1

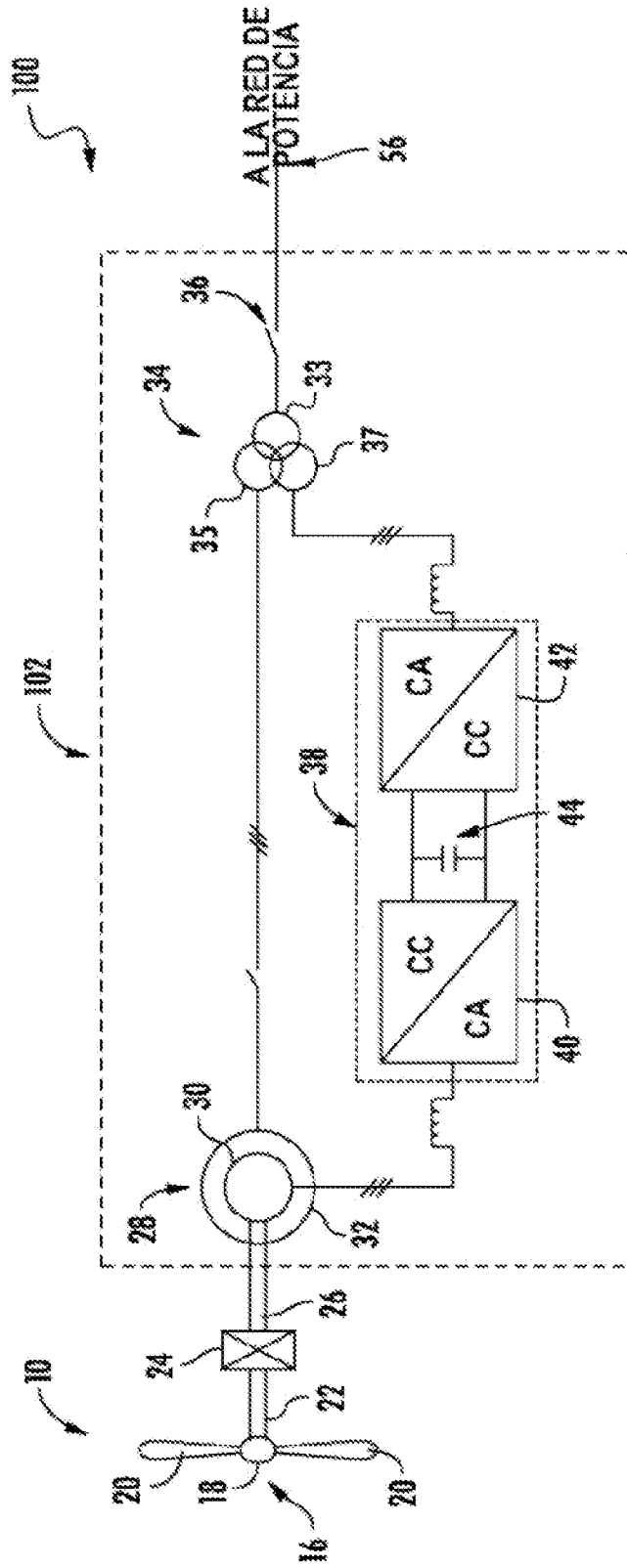


FIG. 2

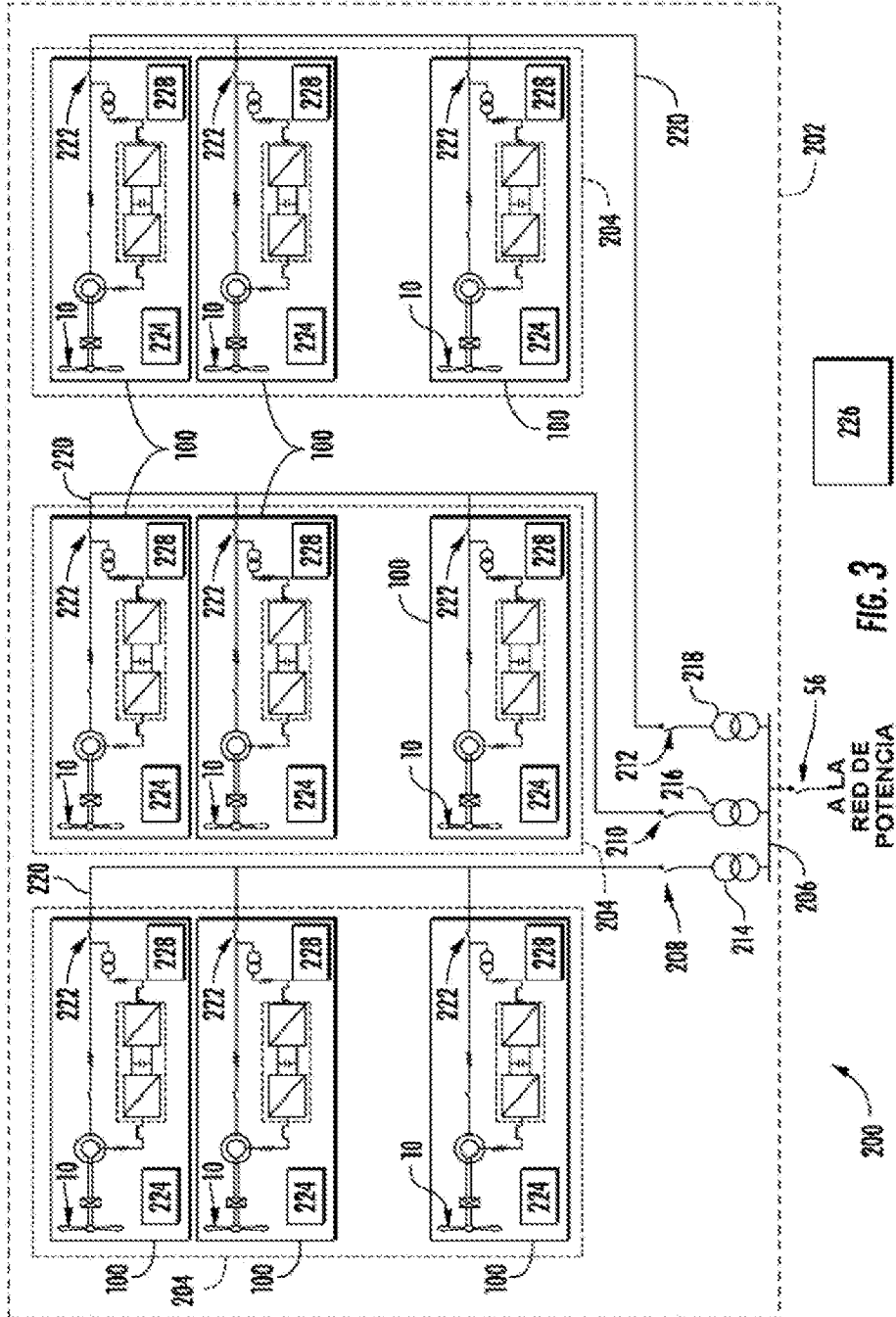
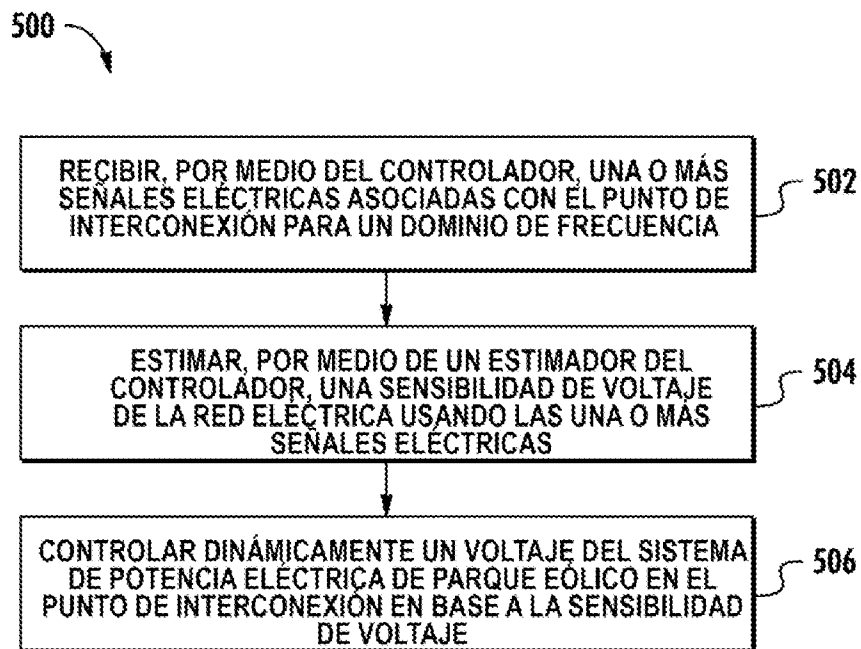
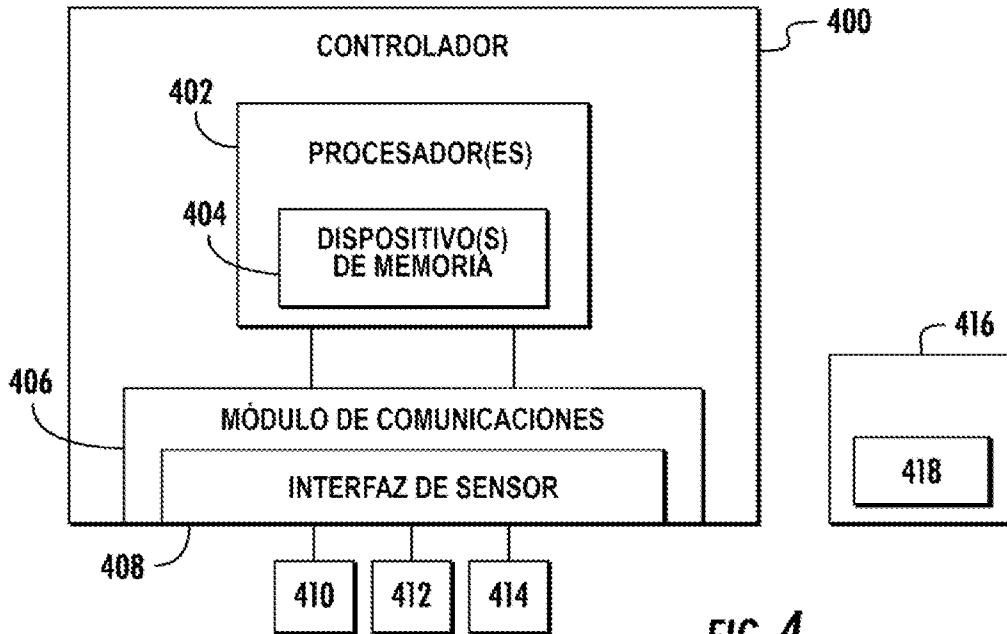


FIG. 3



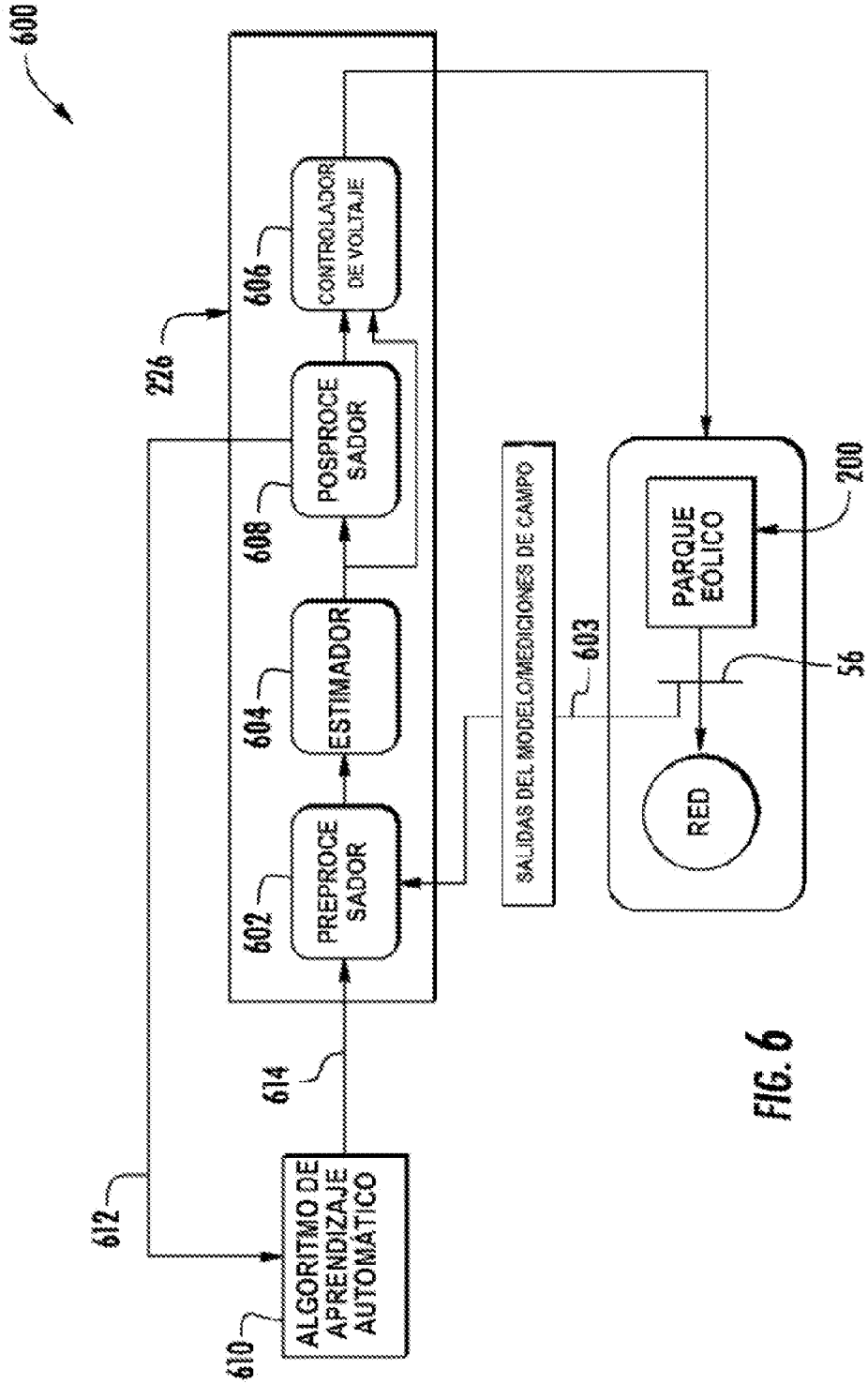


FIG. 6

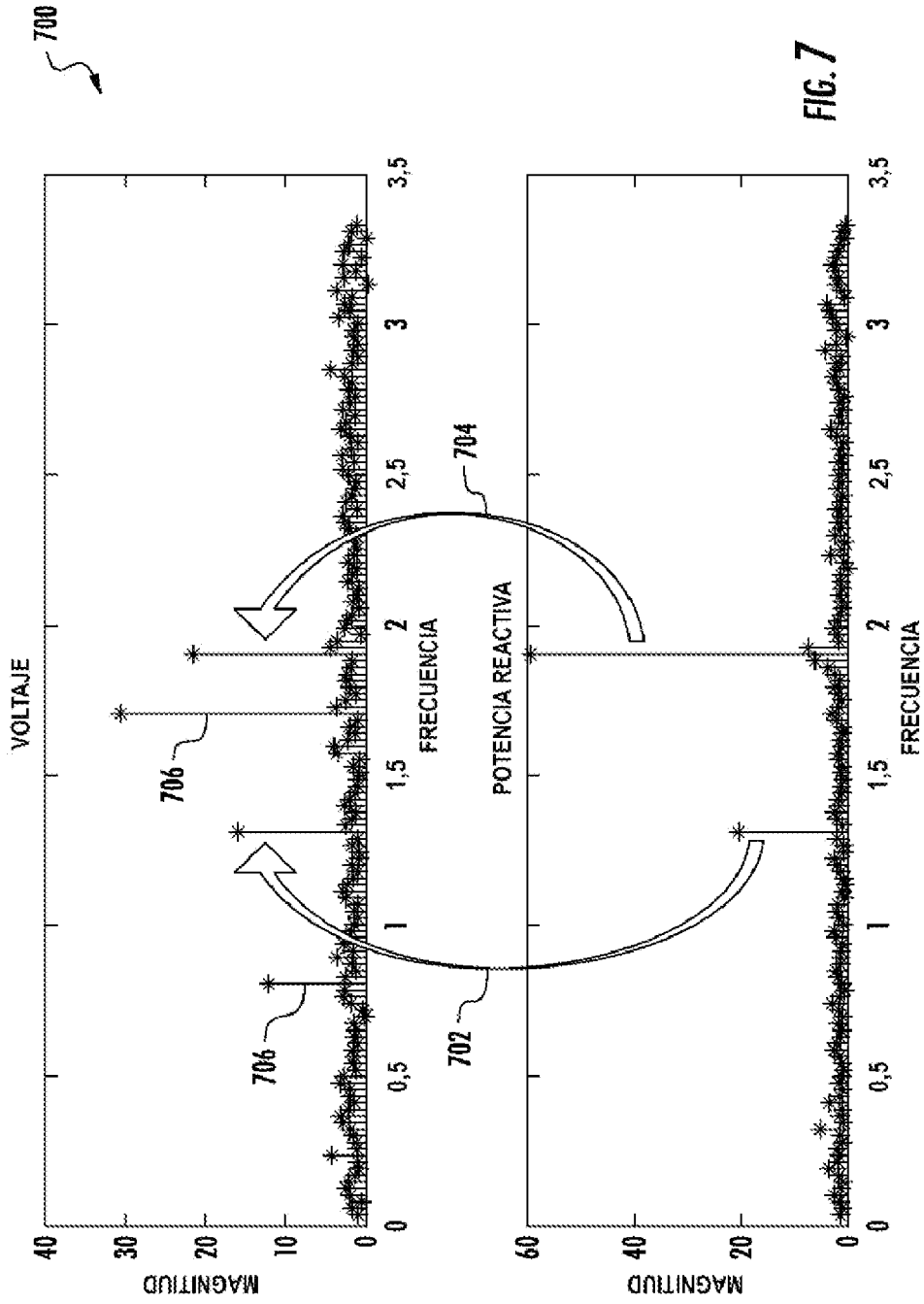


FIG. 7

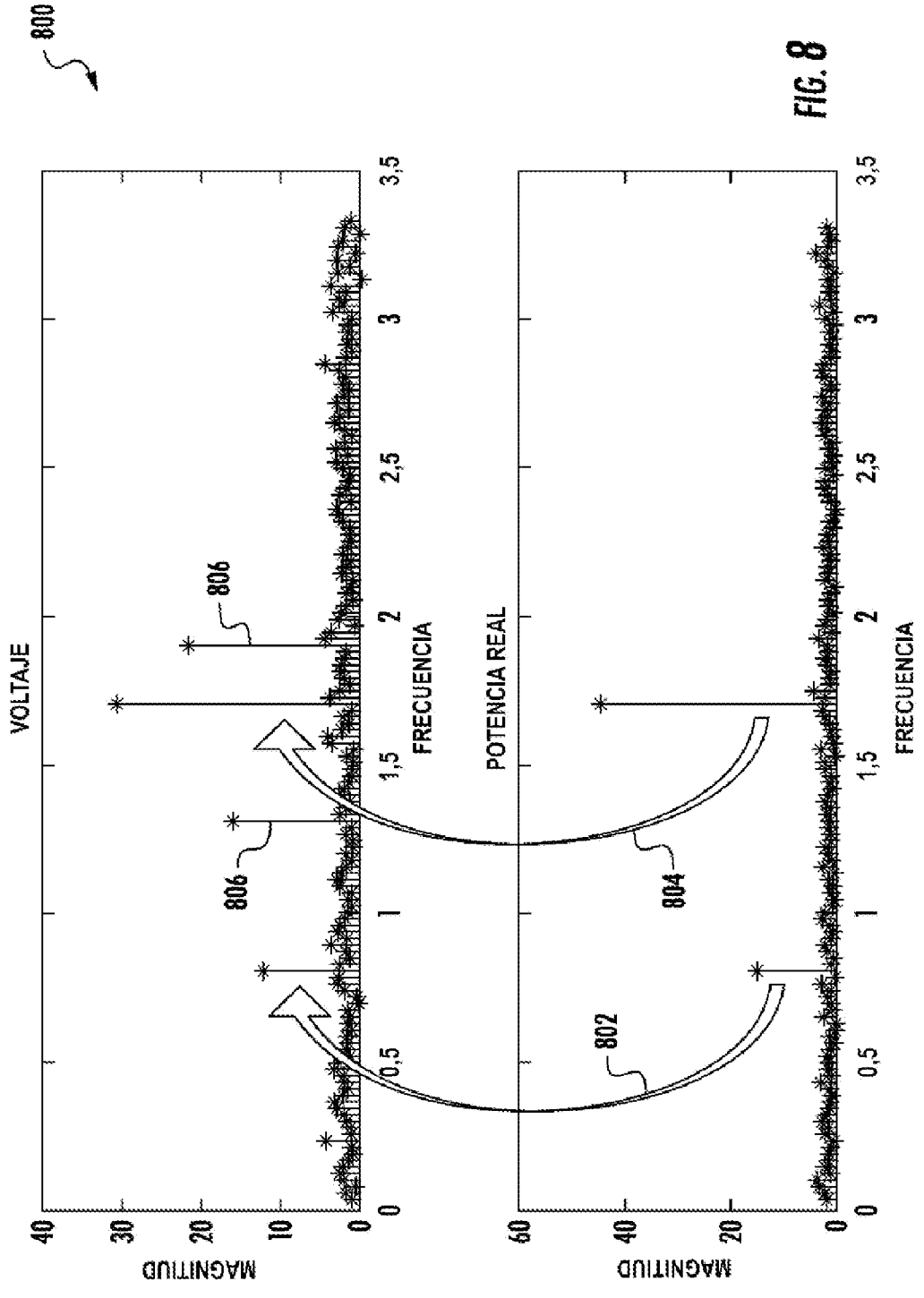


FIG. 8

