

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 964 290**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.08.2019** **E 19194143 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2023** **EP 3617497**

54 Título: **Sistema y procedimiento para incrementar la inercia mecánica del rotor de una turbina eólica para soportar la red durante un evento de frecuencia**

30 Prioridad:

28.08.2018 US 201816114358

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

05.04.2024

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

SCHULTEN, CHRISTOPH

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 964 290 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 incrementar la inercia mecánica del rotor de una turbina eólica para soportar la red durante un evento de frecuencia

Campo

[0001] La presente divulgación se refiere, en general, a turbinas eólicas, y, más en particular, a sistemas y procedimientos para incrementar la inercia mecánica de un rotor de turbina eólica inmediatamente después de la aparición de un evento de red de frecuencia, de modo que la turbina eólica pueda proporcionar salida de potencia adicional para estabilizar la red.

Antecedentes

[0002] En general, una turbina eólica incluye una turbina que tiene un rotor que incluye un conjunto de buje rotatorio que tiene múltiples palas. Las palas transforman la energía eólica en un par de torsión de rotación mecánico que acciona uno o más generadores por medio del rotor. Los generadores a veces, pero no siempre, están acoplados rotacionalmente al rotor a través de una multiplicadora. La multiplicadora eleva la velocidad de rotación inherentemente baja del rotor para que el generador convierta eficazmente la energía mecánica de rotación en energía eléctrica, que se alimenta en una red de suministro por medio de al menos una conexión eléctrica. También existen turbinas eólicas de accionamiento directo sin engranajes. El rotor, generador, multiplicadora y otros componentes típicamente están montados dentro de una carcasa, o góndola, que está situada encima de una base que puede ser una torre de celosía o tubular.

[0003] La integración en red de las turbinas eólicas se puede complicar por una serie de cuestiones, principalmente relacionadas con la variabilidad del viento y las características eléctricas de los generadores eólicos. Una turbina eólica típica aparece ante la red como una fuente de generación sustancialmente diferente a una central eléctrica convencional. La diferencia más significativa es que la turbina eólica es inherentemente incontrolable. Dichas variaciones incontroladas de salida de potencia real tener un impacto en la red, incluyendo las variaciones de frecuencia. Además, las características eléctricas de los generadores eólicos dan como resultado una respuesta a perturbaciones que es naturalmente diferente de la de los generadores síncronos convencionales. Sin controles especiales, una turbina eólica no participa inherentemente en la regulación de la frecuencia de red. Por el contrario, las máquinas síncronas participan en la regulación de frecuencia a través de su inercia inherente y sus controles reguladores. Cuando el generador eólico desplaza a la generación síncrona convencional, se incrementa la carga de la regulación de frecuencia que recae sobre los generadores síncronos restantes.

[0004] El control de frecuencia es una cuestión, en particular, significativa con altos niveles de penetración eólica y solar, en sistemas débiles, y en áreas de control donde el intercambio de interconexiones está restringido o es inexistente. Por lo tanto, es deseable proporcionar un sistema que pueda incrementar la inercia mecánica del rotor de turbina eólica inmediatamente después de la aparición de un evento de red de frecuencia de modo que la turbina eólica pueda proporcionar salida de potencia adicional para estabilizar la red. El artículo "Primary frequency control by wind turbines", por Erlich I *et al*: 2010 IEEE POWER AND ENERGY SOCIETY GENERAL MEETING; MINNEAPOLIS, MINNESOTA, USA, 25-29 DE JULIO DE 2010, IEEE, PISCATAWAY, NJ, EE. UU., 25 de julio de 2010, páginas 1-8, es un ejemplo de soporte de frecuencia de red.

Breve descripción

[0005] 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.

[0006] En un aspecto, la presente divulgación se dirige a un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 para operar una turbina eólica conectada a una red de potencia en respuesta a uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia. El procedimiento incluye monitorizar, por medio de uno o más sensores, una frecuencia de la red de potencia para detectar uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia. En respuesta a la detección de uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia, el procedimiento incluye incrementar la inercia mecánica de un rotor de la turbina eólica durante un primer periodo de tiempo inmediatamente después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia. Después del primer periodo de tiempo, el procedimiento incluye proporcionar una salida de potencia adicional requerida a la red de potencia durante un segundo periodo de tiempo posterior para estabilizar la red de potencia después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia.

[0007] En un modo de realización, el procedimiento puede incluir reducir un par de torsión de la turbina eólica durante el primer periodo de tiempo después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia. En dichos modos de realización, el procedimiento también puede incluir incrementar simultáneamente la inercia mecánica del rotor de la turbina eólica y reducir el par de torsión de la turbina eólica durante el primer periodo de tiempo después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia. En varios modos de realización, la etapa de

incrementar la inercia mecánica del rotor de la turbina eólica puede incluir, por ejemplo, incrementar una velocidad de rotor del rotor.

[0008] En otros modos de realización, el primer periodo de tiempo puede variar de aproximadamente cero (0) segundos a aproximadamente cinco (5) segundos. Por tanto, el segundo periodo de tiempo puede variar de aproximadamente cinco (5) segundos a aproximadamente quince (15) segundos.

[0009] En modos de realización particulares, la salida de potencia adicional requerida puede ser mayor que aproximadamente un 10 % de la potencia nominal de la turbina eólica. En determinados modos de realización, la salida de potencia adicional requerida puede ser mayor que la energía consumida en un periodo de tiempo predeterminado después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia. Como tal, el periodo de tiempo predeterminado puede variar de aproximadamente diez (10) segundos a aproximadamente veinte (20) segundos.

[0010] En otro aspecto, la presente divulgación se dirige a un sistema de acuerdo con la reivindicación 10 para operar una turbina eólica conectada a una red de potencia en respuesta a uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia. El sistema incluye uno o más sensores configurados para monitorizar una frecuencia de la red de potencia para detectar uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia y un controlador acoplado en comunicación al/a los sensor(es). El controlador está configurado para realizar una o más operaciones, que incluyen, pero sin limitarse a, en respuesta a la detección de uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia, incrementar la inercia mecánica de un rotor de la turbina eólica durante un primer periodo de tiempo después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia, y después del primer periodo de tiempo, proporcionar una salida de potencia adicional requerida a la red de potencia durante un segundo periodo de tiempo posterior para estabilizar la red de potencia después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia. red. Se debe entender que el sistema puede incluir además cualquiera de los rasgos característicos adicionales como se describe en el presente documento.

[0011] Aún en otro aspecto, la presente divulgación se dirige a un procedimiento para operar una turbina eólica conectada a una red de potencia. El procedimiento incluye proporcionar, por medio de la turbina eólica, una salida de potencia a la red de potencia. El procedimiento también incluye recibir, por medio de la turbina eólica, una frecuencia de la red de potencia para detectar uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia. En respuesta a uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia, el procedimiento incluye incrementar simultáneamente una velocidad de rotor de un rotor de la turbina eólica y reducir un par de torsión de la turbina eólica durante un primer periodo de tiempo después de que aparezcan los uno o más eventos de red en la red de potencia. Después del primer periodo de tiempo, el procedimiento incluye proporcionar una salida de potencia incrementada a la red de potencia durante un segundo periodo de tiempo posterior para estabilizar la red de potencia después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia. También se debe entender que el procedimiento puede incluir además cualquiera de las etapas y/o rasgos característicos adicionales como se describe en el presente documento.

[0012] Estos y otros rasgos característicos, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

Breve descripción de los dibujos

[0013] En la memoria descriptiva se expone una divulgación completa y habilitante de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

la FIG. 1 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema de potencia de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 2 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un controlador adecuado para su uso con el sistema de potencia de turbina eólica mostrado en la FIG. 1;

la FIG. 3 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de una línea de tiempo de operación de un sistema de potencia de turbina eólica tras un evento de red de frecuencia en una red de potencia de acuerdo con la presente divulgación; y,

la FIG. 4 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para operar una turbina eólica conectada a una red de potencia de acuerdo con la presente divulgación.

Descripción detallada

[0014] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, ilustrándose uno o más de sus ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. De hecho, resultará 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. Por ejemplo, se pueden usar los rasgos característicos ilustrados o descritos como parte de un modo de realización con otro modo de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones que entren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

[0015] En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra un sistema de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) accionado por viento 100 de ejemplo de acuerdo con un modo de realización de la presente divulgación. Se analizan aspectos de ejemplo de la presente divulgación con referencia a la turbina eólica con DFIG 10 de la FIG. 1 con propósitos de ilustración y análisis. Los expertos en la técnica, usando las divulgaciones proporcionadas en el presente documento, deben entender que aspectos de ejemplo de la presente divulgación también son aplicables a otros sistemas de potencia, tales como uno eólico, solar, de turbina de gas, u otros sistemas de generación de potencia adecuados.

[0016] En el sistema 100 de ejemplo, un rotor 106 incluye una pluralidad de palas de rotor 108 acopladas a un buje 110 rotatorio, y conjuntamente definen una hélice. La hélice está acoplada a una multiplicadora 118 opcional que, a su vez, está acoplada a un generador 120. De acuerdo con aspectos de la presente divulgación, el generador 120 puede ser cualquier generador adecuado, incluyendo, pero sin limitarse a, un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) o a un generador de inducción completamente alimentado. El generador 120 típicamente está acoplado a una barra colectora ("bus") de estátor 154 y a un convertidor de potencia 162 por medio de una barra colectora de rotor 156. La barra colectora de estátor 154 proporciona una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) desde un estátor del generador 120 y la barra colectora de rotor 156 proporciona una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) de un rotor del generador 120.

[0017] En referencia al convertidor de potencia 162, el DFIG 120 está acoplado por medio de la barra colectora de rotor 156 a un convertidor de lado de rotor 166. El convertidor de lado de rotor 166 está acoplado a un convertidor de lado de línea 168 que, a su vez, está acoplado a una barra colectora de lado de línea 188. En configuraciones de ejemplo, el convertidor de lado de rotor 166 y el convertidor de lado de línea 168 están configurados para un modo de operación normal en una disposición de modulación por ancho de pulso (PWM) trifásico usando elementos de conmutación de transistor bipolar de puerta aislada (IGBT). El convertidor de lado de rotor 166 y el convertidor de lado de línea 168 se pueden acoplar por medio de un enlace de CC 136 a través del que está el condensador 138 del enlace de CC.

[0018] El sistema de potencia 100 también puede incluir un controlador 174 configurado para controlar la operación de los diversos componentes del sistema 100, así como para implementar cualquier etapa de procedimiento como se describe en el presente documento. Por tanto, el controlador 174 puede incluir cualquier número de dispositivos de control. En una implementación, como se muestra en la FIG. 2, el controlador 174 puede incluir uno o más procesadores 176 y dispositivos de memoria 178 asociados configurados para realizar una variedad de funciones y/o instrucciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares y almacenar datos pertinentes como se divulga en el presente documento). Las instrucciones, cuando se ejecutan por el procesador 176, pueden provocar que el procesador 176 realice operaciones, incluyendo proporcionar comandos de control a los diversos componentes de sistema. Adicionalmente, el controlador 174 puede incluir un módulo de comunicaciones 180 para facilitar las comunicaciones entre el controlador 174 y los diversos componentes del sistema de potencia 100, por ejemplo, cualquiera de los componentes de la FIG. 1. Además, el módulo de comunicaciones 180 puede incluir una interfaz de sensor 182 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde uno o más sensores se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 176. Se debe apreciar que los sensores (por ejemplo, los sensores 181, 183, 185) se pueden acoplar en comunicación al módulo de comunicaciones 180 usando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, como se muestra, los sensores 181, 183, 185 están acoplados a la interfaz de sensor 182 por medio de una conexión por cable. Sin embargo, en otros modos de realización, los sensores 181, 183, 185 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 182 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Como tal, el procesador 176 se puede configurar para recibir una o más señales desde los sensores.

[0019] 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 que se incluyen 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 aplicación y otros circuitos programables. El procesador 176 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 178 puede(n) comprender, en general, elemento(s) de memoria que incluyen, pero sin limitarse a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, una 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 178 se puede(n)

configurar, en general, para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 176, configuran el controlador 174 para realizar las diversas funciones como se describe en el presente documento.

[0020] Durante la operación, se proporciona potencia de corriente alterna (CA) generada en el DFIG 120 por rotación del rotor 106 por medio de una ruta dual a una red eléctrica 160. Las rutas duales están definidas por la barra colectora de estátor 154 y la barra colectora de rotor 156. En el lado de barra colectora de rotor 156, se proporciona potencia de CA multifásica (por ejemplo, trifásica) sinusoidal al convertidor de potencia 162. El convertidor de potencia de lado de rotor 166 convierte la potencia de CA proporcionada desde la barra colectora de rotor 156 en potencia de corriente continua (CC) y proporciona la potencia de CC al enlace de CC 136. Los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en circuitos en derivación del convertidor de potencia de lado de rotor 166 se pueden modular para convertir la potencia de CA proporcionada desde la barra colectora de rotor 156 en potencia de CC adecuada para el enlace de CC 136.

[0021] Además, el convertidor de lado de línea 168 convierte la potencia de CC en el enlace de CC 136 en potencia de salida de CA adecuada para la red eléctrica 160. En particular, los elementos de conmutación (por ejemplo, IGBT) usados en circuitos en derivación del convertidor de potencia de lado de línea 168 se pueden modular para convertir la potencia de CC en el enlace de CC 136 en potencia de CA en la barra colectora de lado de línea 188. La potencia de CA del convertidor de potencia 162 se puede combinar con la potencia del estátor del DFIG 120 para proporcionar potencia multifásica (por ejemplo, potencia trifásica) que tiene una frecuencia mantenida sustancialmente a la frecuencia de la red eléctrica 160 (por ejemplo, 50 Hz/60 Hz).

[0022] Se pueden incluir diversos conmutadores y disyuntores de circuito, tales como un disyuntor de convertidor 186, en el sistema de potencia 100 para conectar o desconectar las barras colectoras correspondientes, por ejemplo, cuando el flujo de corriente es excesivo y puede dañar a los componentes del sistema 100 o por otras consideraciones operativas. También se pueden incluir componentes de protección adicionales en el sistema de potencia 100.

[0023] Todavía en referencia a la FIG. 1, el sistema de potencia 100 también puede incluir un sistema de almacenamiento de energía de batería (BESS) 190 acoplado al convertidor de potencia 162. Más específicamente, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el BESS 190 se puede conectar en paralelo con el enlace de CC 136 del convertidor de potencia 162. El sistema de almacenamiento de energía de batería 190 se puede usar para proporcionar potencia al enlace de CC 136 en determinadas condiciones. Por ejemplo, el BESS 190 se puede usar para proporcionar potencia al enlace de CC 136 para incrementar la salida del sistema de potencia 100 cuando cae la velocidad del viento. También se puede suministrar potencia y almacenar en el BESS 190 durante la operación del sistema de potencia 100.

[0024] En referencia ahora a la FIG. 3, se ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 200 para operar una turbina eólica conectada a una red de potencia en respuesta a uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia. En general, el procedimiento 200 se describirá en el presente documento con referencia a la turbina eólica 10 mostrada en la FIG. 1. Sin embargo, se debe apreciar que el procedimiento 200 divulgado se puede implementar con turbinas eólicas que tienen cualquier otra configuración adecuada. Además, aunque la FIG. 3 representa las etapas realizadas en un orden particular con propósitos de ilustración y análisis, los procedimientos analizados en el presente documento no están limitados 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 diversos modos sin desviarse del alcance de la presente divulgación.

[0025] Como se muestra en (202), el procedimiento 200 puede incluir proporcionar una salida de potencia a la red de potencia 160, por ejemplo, por medio del sistema de potencia de turbina eólica 100. En otras palabras, durante la operación normal, el sistema de potencia de turbina eólica 100 está configurado para generar una potencia nominal y proporcionar la potencia generada a la red de potencia 160. Como se muestra en (204), el procedimiento 200 puede incluir monitorizar, por medio de uno o más sensores, una frecuencia de la red de potencia para detectar uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia 160. Por ejemplo, en un modo de realización, los sensores 181, 183, 185 descritos en el presente documento están configurados para monitorizar continuamente una o más condiciones eléctricas (por ejemplo, frecuencia, voltaje, corriente, etc.) de la red de potencia 160 y enviar las señales de sensor al controlador 174. Como tal, el controlador 174 está configurado para determinar si está apareciendo un evento de red de frecuencia en la red de potencia 160 en base a las señales de sensor. Como se describe en el presente documento, un evento de red de frecuencia, en general, engloba cualquier perturbación de sobrefrecuencia o infrafrecuencia en la red que puede disminuir potencialmente el rendimiento de la red.

[0026] Como se muestra en (206), el procedimiento 200 incluye determinar si se ha detectado un evento de frecuencia. Si así es, como se muestra en (208), el procedimiento 200 incluye incrementar o cargar la inercia mecánica del rotor 106 de la turbina eólica 100 durante un periodo de tiempo inmediato (también denominado en el presente documento primer periodo de tiempo) después de que aparezca uno o más eventos de red en la red de potencia 160. Por ejemplo, en varios modos de realización, la inercia mecánica del rotor 106 se puede incrementar incrementando una velocidad de rotor del rotor 106. Por tanto, durante el periodo de tiempo inmediatamente posterior tras el evento

de red, se puede generar y almacenar inercia mecánica adicional de modo que la energía adicional se pueda usar para proporcionar un incremento de la potencia como se describe a continuación.

[0027] Además, en determinados modos de realización, el procedimiento 200 puede incluir reducir un par de torsión de la turbina eólica 100 durante el periodo de tiempo inmediato después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia 160. En dichos modos de realización, el controlador 174 puede incrementar simultáneamente la inercia mecánica del rotor 106 y reducir el par de torsión de la turbina eólica 100 durante el periodo de tiempo inmediato después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia 160. El periodo de tiempo inmediato tras el evento de red de frecuencia como se describe en el presente documento puede variar de aproximadamente cero (0) segundos a aproximadamente cinco (5) segundos.

[0028] Después del periodo de tiempo inmediato, como se muestra en (210), el procedimiento 200 incluye proporcionar una salida de potencia adicional requerida a la red de potencia 160 durante un segundo periodo de tiempo posterior para estabilizar la red de potencia 160 después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia 160. El segundo periodo de tiempo tras el periodo de tiempo inmediato como se describe en el presente documento puede variar de aproximadamente cinco (5) segundos a aproximadamente quince (15) segundos. En modos de realización particulares, la salida de potencia adicional requerida puede ser mayor que de aproximadamente un 5 % a un 10 % de la potencia nominal de la turbina eólica 100. Para alcanzar este valor, el margen de par de torsión del sistema de potencia de turbina eólica 100 a menudo está en su límite. Sin embargo, al incrementar la velocidad de rotor en el periodo de tiempo inmediato, el par de torsión también se puede reducir para mantener la potencia de salida demandada. Por tanto, dichas acciones proporcionan un margen de par de torsión adicional para suministrar la salida de potencia adicional requerida en el segundo periodo de tiempo. Además, en un modo de realización, la salida de potencia adicional requerida puede ser mayor que la energía consumida en un periodo de tiempo predeterminado después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia 160. Más específicamente, la duración del incremento de potencia puede ser del orden de varios segundos. Por ejemplo, en un modo de realización, el periodo de tiempo predeterminado descrito en el presente documento puede variar de aproximadamente diez (10) segundos a aproximadamente veinte (20) segundos.

[0029] El procedimiento 200 de la FIG. 3 se puede entender mejor con respecto a la FIG. 4. Como punto inicial, el sistema y procedimiento de la presente divulgación incluye transferir la inercia mecánica del rotor 106 de turbina eólica en un incremento temporal de potencia eléctrica para eventos de red de infrafrecuencia transitorios. Más específicamente, el sistema y procedimiento de la presente divulgación se centra en la reserva operativa de potencia (POR). La POR se define, en general, como la salida de potencia adicional requerida en el nadir de frecuencia (es decir, mínimo) en comparación con la salida de potencia de evento de frecuencia previa, que está completamente disponible y es sostenible entre T_1 y T_2 , por ejemplo, 5 segundos y 15 segundos después del evento (donde el nadir aparece entre 5 y 15 segundos después del evento, pero siendo el tiempo específico de código de red). Por tanto, el periodo de tiempo de POR se ilustra en la FIG. 4 e incluye el periodo de tiempo inmediato descrito en el presente documento (por ejemplo, aproximadamente 5 segundos).

[0030] Además, como se muestra, el evento de red de frecuencia se detecta en T_0 . En el periodo de tiempo inmediato tras la detección del evento de red de frecuencia (entre T_0 y T_1), existe un retraso en la respuesta de potencia del sistema de potencia de turbina eólica 100. Más específicamente, en determinados modos de realización, el controlador 174 retrasa la respuesta de potencia y carga el rotor 106 en los primeros segundos después del evento de frecuencia incrementando la velocidad de rotor del rotor 106. Al mismo tiempo, el controlador 174 también puede disminuir el par de torsión del sistema de potencia de turbina eólica 100 para mantener la salida de potencia demandada de la red de potencia 160. Dichas acciones proporcionan inercia mecánica adicional y margen de velocidad/par de torsión para que el sistema de potencia de turbina eólica 100 suministre la salida de potencia adicional requerida para estabilizar la red de potencia 160. Por tanto, como se muestra en el segundo periodo de tiempo posterior, entre T_1 y T_2 , el sistema de potencia de turbina eólica 100 suministra la salida de potencia adicional requerida a la red de potencia 160 para estabilizar la red 160. En determinados modos de realización, la energía suministrada durante los eventos de frecuencia es mayor que la energía consumida en los siguientes de 10 a 20 segundos después del evento de frecuencia. Además, puede que no caiga la velocidad de rotor tanto por debajo de la consigna de velocidad original y el sistema de potencia de turbina eólica 100 se puede recuperar de su salida de potencia previa más rápidamente. Además, la salida de potencia adicional durante un evento de frecuencia se debe mantener durante determinado periodo de tiempo (por ejemplo, más de 10 segundos) como se requiere por la red de potencia 160. Al incrementar la inercia mecánica por medio del incremento de la velocidad de rotor, la salida de potencia puede ser más estable, especialmente al final del periodo de tiempo POR, cuando la inercia del rotor típicamente se agota.

[0031] Todavía en referencia a la FIG. 4, antes del periodo de tiempo inmediato, el controlador 174 puede evaluar un periodo de tiempo potencial, es decir, antes de que aparezca y se detecte el evento de red de frecuencia. Como tal, si el controlador 174 detecta que la frecuencia de red está cayendo, el controlador 174 también se puede configurar para incrementar la velocidad de rotor durante este periodo de tiempo. En consecuencia, dicha(s) acción(es) por el controlador 174 proporcionan tiempo potencial para cargar el rotor 106 si el periodo de tiempo inmediato es insuficiente (por ejemplo, debido a requisitos de red, tales como una respuesta de frecuencia rápida "FFR"). Más específicamente, en un modo de realización, el periodo de tiempo potencial puede corresponder a un periodo de tiempo relacionado con el valor real y la tasa de cambio de la frecuencia de red hacia un determinado umbral. Como

se usa en el presente documento, la FFR, en general, se refiere al caso en el que el periodo de tiempo inmediato es igual a cero segundos, que es el periodo de tiempo potencial relacionado con la frecuencia de red.

- 5 **[0032]** Se describen anteriormente en detalle modos de realización ejemplares de una turbina eólica, un controlador para una turbina eólica y procedimientos de control de una turbina eólica. Los procedimientos, turbina eólica y controlador no están limitados a los modos de realización específicos descritos en el presente documento, sino que, en cambio, los componentes de la turbina eólica y/o el controlador y/o etapas de los procedimientos se pueden utilizar independientemente y por separado de otros componentes y/o etapas descritos en el presente documento. Por ejemplo, el controlador y procedimientos también se pueden usar en combinación con otros procedimientos y sistemas de potencia de turbina eólica, y no se limitan a la práctica solo con el sistema de potencia como se describe en el presente documento. Más bien, el modo de realización ejemplar se puede implementar y utilizar en conexión con muchas otras aplicaciones de turbina eólica o sistema de potencia, tales como sistemas de potencia solar.
- 10
- 15 **[0033]** Aunque los rasgos característicos específicos 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 cualquier rasgo característico de un dibujo en combinación con cualquier rasgo característico de cualquier otro dibujo.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (200) para operar una turbina eólica (100) conectada a una red de potencia (160) en respuesta a uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia (160), comprendiendo el procedimiento (200):
monitorizar, por medio de uno o más sensores (181, 18, 185), la red de potencia (160) para detectar uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia (160);
en respuesta a detectar uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia (160), retrasar una respuesta de potencia y cargar un rotor incrementando la inercia mecánica de un rotor (106) de la turbina eólica (100) durante un primer periodo de tiempo inmediatamente después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia (160), para mantener la salida de potencia demandada de la red de potencia; y,
después del primer periodo de tiempo, proporcionar una salida de potencia adicional requerida a la red de potencia (160) durante un segundo periodo de tiempo posterior para estabilizar la red de potencia (160) después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia (160).
2. El procedimiento (200) de la reivindicación 1, que comprende además reducir un par de torsión de la turbina eólica (100) durante el primer periodo de tiempo.
3. El procedimiento (200) de la reivindicación 2, que comprende además incrementar simultáneamente la inercia mecánica del rotor (106) de la turbina eólica (100) y reducir el par de torsión de la turbina eólica (100) durante el primer periodo de tiempo.
4. El procedimiento (200) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que incrementar la inercia mecánica del rotor (106) de la turbina eólica (100) comprende además incrementar una velocidad de rotor del rotor (106).
5. El procedimiento (200) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el primer periodo de tiempo varía de aproximadamente cero (0) segundos a aproximadamente cinco (5) segundos.
6. El procedimiento (200) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el segundo periodo de tiempo varía de aproximadamente cinco (5) segundos a aproximadamente quince (15) segundos.
7. El procedimiento (200) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la salida de potencia adicional requerida es mayor que aproximadamente un 10 % de la potencia nominal de la turbina eólica (100).
8. El procedimiento (200) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la salida de potencia adicional requerida para estabilizar la red es mayor que la energía consumida, en un periodo de tiempo predeterminado después de que aparezcan uno o más eventos de red, en la red de potencia (160).
9. El procedimiento (200) de la reivindicación 8, en el que el periodo de tiempo predeterminado varía de aproximadamente diez (10) segundos a aproximadamente veinte (20) segundos.
10. Un sistema para operar una turbina eólica (100) conectada a una red de potencia (160) en respuesta a uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia (160), comprendiendo el sistema:
uno o más sensores (181, 18, 185) configurados para monitorizar la red de potencia (160) para detectar uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia (160); y,
un controlador (174) acoplado en comunicación a los uno o más sensores (181, 18, 185), el controlador (174) configurado para realizar una o más operaciones, comprendiendo las una o más operaciones:
en respuesta a detectar uno o más eventos de red que aparecen en la red de potencia (160), retrasar una respuesta de potencia y cargar un rotor incrementando la inercia mecánica de un rotor (106) de la turbina eólica (100) durante un primer periodo de tiempo después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia (160), para mantener la salida de potencia demandada de la red de potencia; y,
después del primer periodo de tiempo, proporcionar una salida de potencia adicional requerida a la red de potencia (160) durante un segundo periodo de tiempo para estabilizar la red de potencia (160) después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia (160).

- 11. El sistema de la reivindicación 10, que comprende además reducir un par de torsión de la turbina eólica (100) durante el primer periodo de tiempo después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia (160).
- 5 12. El sistema de la reivindicación 11, que comprende además incrementar simultáneamente la inercia mecánica del rotor (106) de la turbina eólica (100) y reducir el par de torsión de la turbina eólica (100) durante el primer periodo de tiempo después de que aparezcan uno o más eventos de red en la red de potencia (160).
- 10 13. El sistema de las reivindicaciones 10, 11 o 12, en el que incrementar la inercia mecánica del rotor (106) de la turbina eólica (100) comprende además incrementar una velocidad de rotor del rotor (106).
- 14. El sistema de las reivindicaciones 10, 11, 12 o 13, en el que el primer periodo de tiempo varía de aproximadamente cero (0) segundos a aproximadamente cinco (5) segundos.
- 15 15. El sistema de las reivindicaciones 10, 11, 12, 13 o 14, en el que el segundo periodo de tiempo varía de aproximadamente cinco (5) segundos a aproximadamente quince (15) segundos.

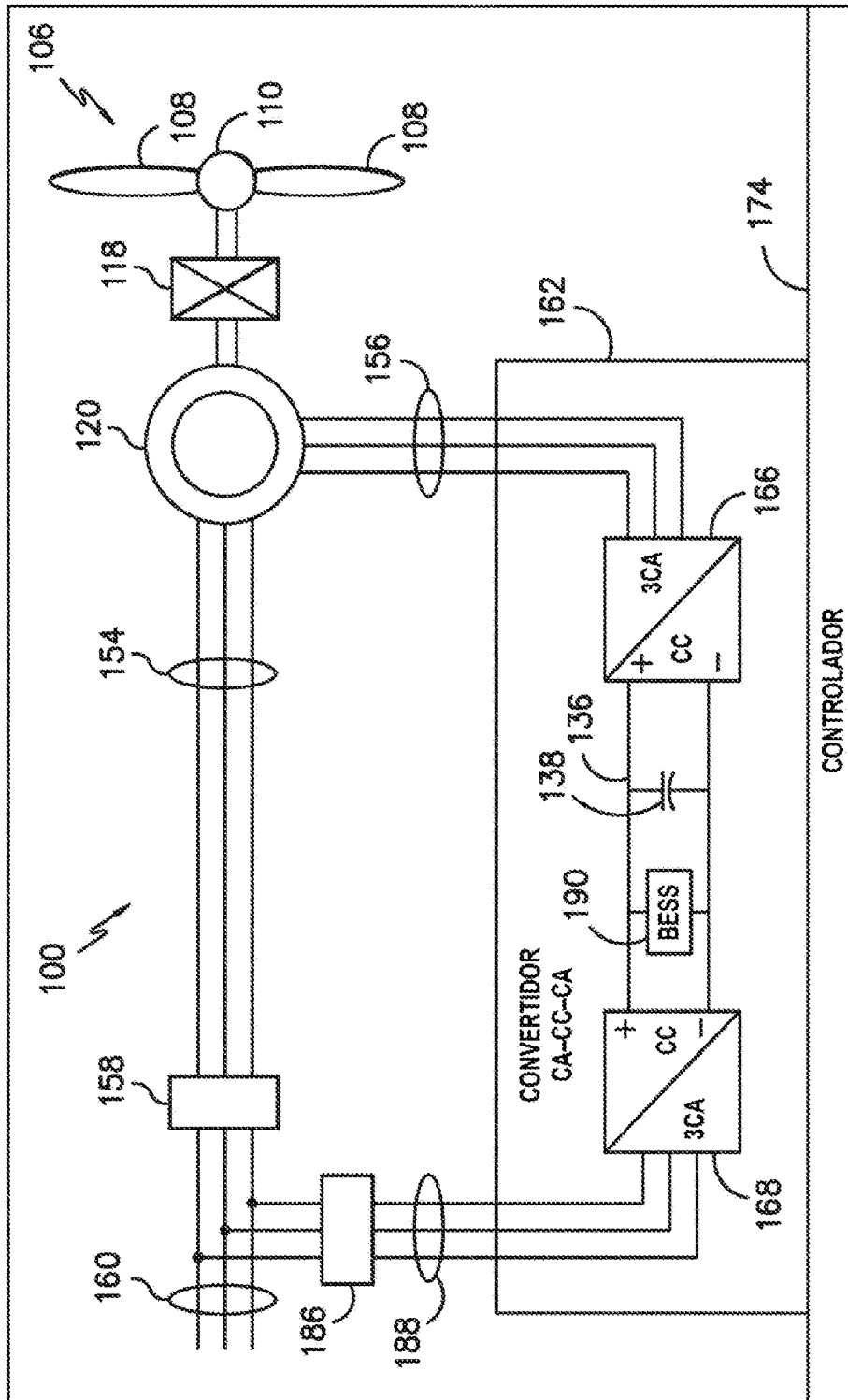


FIG. 1

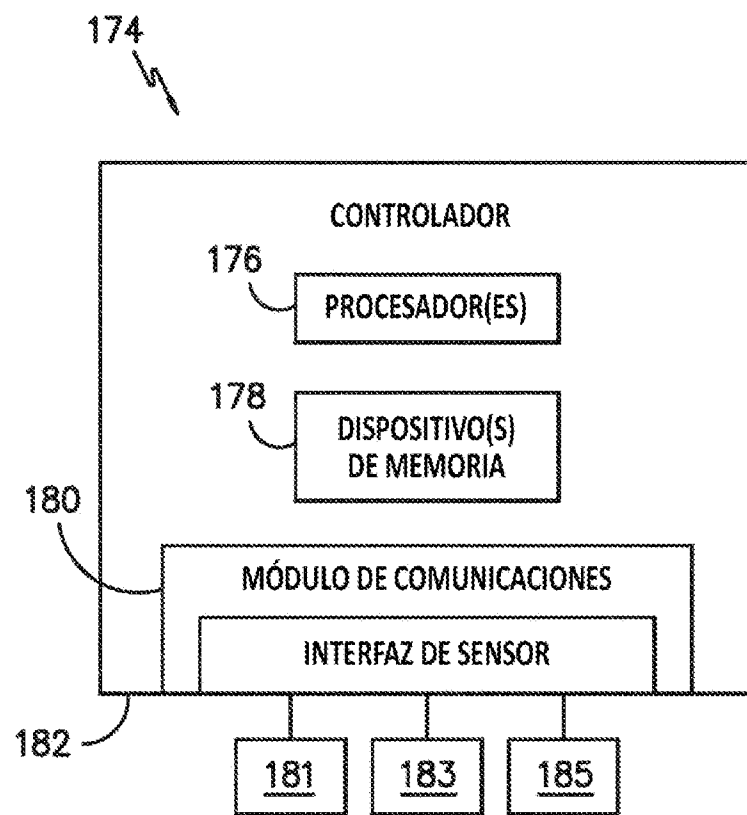


FIG. -2-

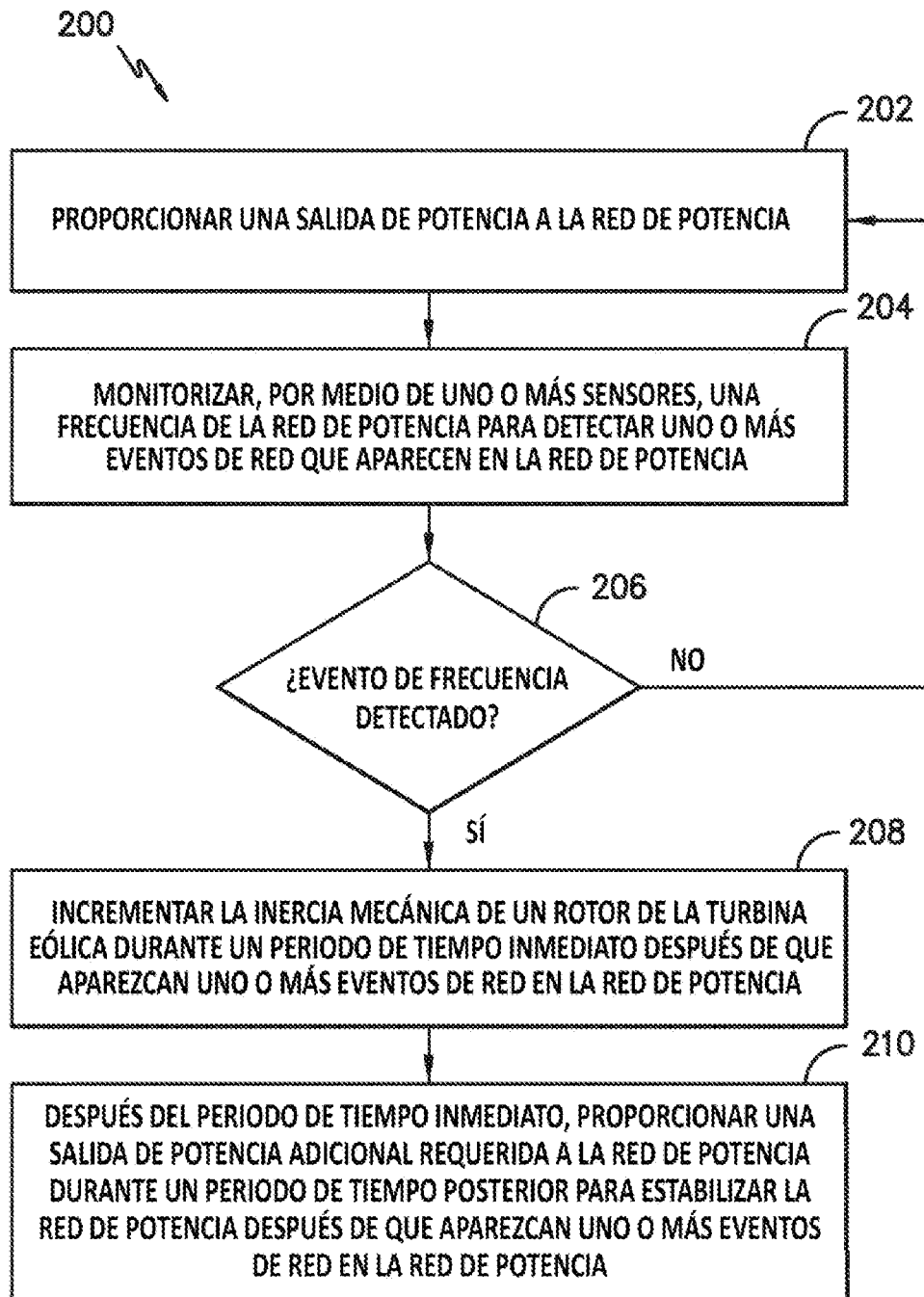


FIG. -3-

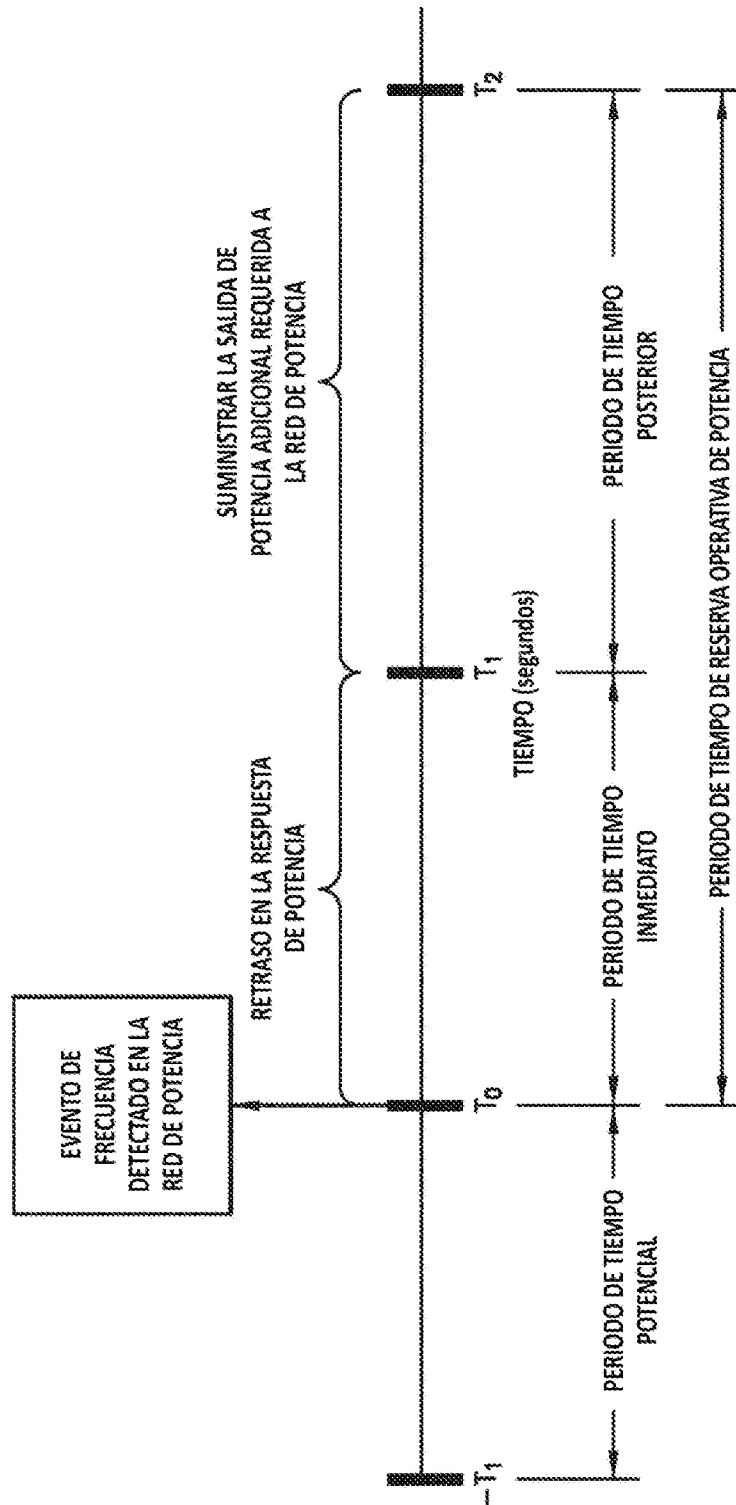


FIG. -4-