

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 982 336**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 15/00 (2006.01)

F16D 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.08.2021** **E 21192801 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2024** **EP 3961029**

54 Título: **Sistema y procedimiento para controlar una turbina eólica**

30 Prioridad:

26.08.2020 US 202017002954

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

15.10.2024

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HOLLIDAY, III, CORNELIUS EDWARD;
RAMIREZ SANCHEZ, FERNANDO ARTURO;
ANGEL, MATHEW DOYLE;
KILLEEN, NATHAN MICHAEL;
HARDWICKE, JR., EDWARD WAYNE;
SUTHERLAND, STEVEN WADE;
WAGONER, ROBERT GREGORY;
GANIREDDY, GOVARDHAN y
HAQUE, TALHA IRFANUL**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 982 336 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 controlar una turbina eólica

5 **Campo**

[0001] La presente divulgación se refiere en general a turbinas eólicas, y más en particular a sistemas y procedimientos para controlar turbinas eólicas para incrementar la tracción del acoplamiento deslizante en el tren de potencia.

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. Una turbina eólica moderna típicamente incluye una torre, un generador, una multiplicadora, una góndola y una o más palas de rotor. La góndola incluye un conjunto de rotor acoplado a la multiplicadora y al generador. El conjunto de rotor y la multiplicadora se montan en un bastidor de soporte de bancada situado dentro de la góndola. La una o más palas de rotor capturan energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos. Las palas de rotor transmiten la energía cinética en forma de energía de rotación para girar un eje que acopla las palas de rotor a una multiplicadora o, si no se usa una multiplicadora, directamente al generador. A continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica y la energía eléctrica se puede transmitir a un convertidor y/o un transformador alojado dentro de la torre y posteriormente utilizar en una red de suministro. Los sistemas de generación de potencia eólica modernos típicamente toman la forma de un parque eólico que tiene múltiples de dichos generadores de turbina eólica que son operables para suministrar potencia a un sistema de transmisión que proporciona potencia a una red eléctrica.

25

[0003] En determinados casos, puede ser deseable aplicar un par de torsión de frenado con el generador para ralentizar el rotor. Por ejemplo, la turbina eólica puede experimentar un acontecimiento operativo anómalo, tal como una condición de exceso de velocidad, una porción de una pala de rotor (o la pala de rotor en su totalidad) separándose de la turbina eólica, y/u otra desviación significativa del estado en operación normal de la turbina eólica. Dichos acontecimientos pueden provocar daños importantes a la turbina eólica, por lo que es deseable ralentizar rápidamente la rotación del rotor. Sin embargo, como el rotor típicamente se acopla de forma rotatoria al generador por medio de un acoplamiento deslizante, la generación de par de torsión por el generador y/o la inercia del rotor puede dar como resultado una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante cuando de otro modo sería deseable aplicar un par de torsión de generador al tren de potencia. En consecuencia, puede ser deseable controlar el par de torsión de generador para mantener, o recuperar, la tracción del acoplamiento deslizante para facilitar la aplicación del par de torsión de generador al tren de potencia. El documento JPH 08 312 523 A describe un dispositivo generador de potencia eólica que transmite la rotación de una pala a un generador por medio de un incrementador de velocidad de transmisión por fricción y controla el ángulo de *pitch* de la pala en base a la salida del generador. Un embrague de tipo fricción, en el que un par de torsión de transmisión se controla por un dispositivo de ajuste de fuerza de presión, se interpone entre el incrementador de velocidad de transmisión por fricción y el generador, y se controla el ángulo de *pitch* de pala para reducir una proporción de deslizamiento sobre la base de una proporción de deslizamiento en el embrague de tipo fricción. El documento JP 2013 238 281 A describe un procedimiento de control de un sistema de transmisión de potencia de un equipo de generación de potencia eólica equipado con un embrague que puede establecer el par de torsión de deslizamiento por una fuerza de presión de la placa de fricción en el sistema de transmisión de potencia de la pala del equipo de generación de potencia eólica al generador. El procedimiento de control incluye un proceso de presionar la placa de fricción con un primer fluido presurizado que puede generar una primera fuerza de presión que puede mantener la placa de fricción del embrague en un estado de conexión mientras la entrada de par de torsión axial al embrague es menor que un par de torsión de transmisión permisible predeterminado, un proceso de detección de deslizamiento de la placa de fricción, y un proceso de presionar la placa de fricción con un segundo fluido presurizado más grande para incrementar la fuerza de presión de la placa de fricción mayor que la primera fuerza de presión después de que se haya detectado el deslizamiento de la placa de fricción.

35

40

45

50

[0004] Por tanto, la técnica busca continuamente sistemas y procedimientos nuevos y mejorados que aborden los problemas mencionados anteriormente. Como tal, la presente divulgación se refiere a sistemas y procedimientos para controlar una turbina eólica para mantener o incrementar la tracción del acoplamiento deslizante.

55

Breve descripción

[0005] 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 la invención.

60

[0006] En un aspecto, la presente divulgación se refiere a un procedimiento para controlar una turbina eólica. La turbina eólica tiene un tren de potencia que incluye un rotor acoplado de forma rotatoria a un generador por medio de un acoplamiento deslizante. El procedimiento incluye detectar con un controlador, que puede ser un controlador de la turbina eólica, una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante. En respuesta a la detección de la pérdida de tracción, el procedimiento incluye reducir, con el controlador, una consigna de par de torsión de generador para

65

incrementar la velocidad de rotación del generador. Adicionalmente, el procedimiento incluye incrementar la tracción del acoplamiento deslizante en respuesta al incremento en la velocidad de rotación del generador. Por tanto, incrementar la tracción del acoplamiento deslizante facilita la aplicación del par de torsión de generador al tren de potencia de la turbina eólica.

5 **[0007]** En un modo de realización, el procedimiento también puede incluir recibir, con el controlador, una indicación de al menos una velocidad de rotación desde un codificador acoplado operativamente a un eje rápido del tren de potencia y/o un rotor de generador.

10 **[0008]** En un modo de realización adicional, el controlador puede ser un controlador de convertidor. En dichos modos de realización, el controlador de convertidor puede tener una frecuencia de muestreo de al menos una muestra cada 200 microsegundos.

15 **[0009]** En otro modo de realización, la(s) velocidad(es) de rotación puede(n) ser una velocidad de rotación del generador. Además, el procedimiento puede incluir detectar, con el controlador, la velocidad de rotación en un primer intervalo de muestreo. El procedimiento también puede incluir detectar, con el controlador, la velocidad de rotación en un intervalo de muestreo posterior. Además, el procedimiento puede incluir detectar, con el controlador, un cambio de velocidad del generador entre los intervalos de muestreo. El cambio de velocidad puede indicar una desaceleración.

20 **[0010]** En un modo de realización, el procedimiento puede incluir determinar, con el controlador, una tasa ("rate") de desaceleración del generador en base a las velocidades de rotación detectadas en los intervalos de muestreo. La tasa de desaceleración puede ser mayor que un umbral de tasa de cambio para la turbina eólica.

25 **[0011]** En un modo de realización adicional, el tren de potencia puede incluir un eje lento que acopla el rotor a una multiplicadora. La multiplicadora se puede acoplar al generador por medio del acoplamiento deslizante. El procedimiento también puede incluir detectar, con el controlador, una velocidad de rotación del eje de rotor lento. Además, el procedimiento puede incluir detectar, con el controlador, una velocidad de rotación del generador. Además, el procedimiento puede incluir detectar, con el controlador, una proporción de la velocidad de rotación del generador con respecto a la velocidad de rotación del eje de rotor lento que es menor que un umbral de correlación de velocidad.

30 **[0012]** En otro modo de realización, la(s) velocidad(es) de rotación puede(n) ser una velocidad de rotación del generador. El procedimiento puede incluir recibir, con el controlador, una indicación de al menos un parámetro operativo de la turbina eólica. El al menos un parámetro operativo puede incluir la velocidad del viento, dirección del viento y/o un ángulo de *pitch* colectivo del rotor. El procedimiento también puede incluir determinar, con el controlador, una correlación entre el/los parámetro(s) operativo(s) y la velocidad de rotación del generador que está por debajo de un correspondiente umbral de correlación.

35 **[0013]** En un modo de realización, el procedimiento puede incluir detectar, con el controlador, una disminución en la inercia encontrada por el generador. La inercia encontrada por el generador puede incluir al menos una inercia de rotor.

40 **[0014]** En un modo de realización adicional, el procedimiento puede incluir recibir, con el controlador, una indicación de la velocidad de rotación del generador en un primer intervalo de muestreo y un intervalo de muestreo posterior. Las indicaciones pueden ser indicativas de un cambio en la velocidad de rotación. El procedimiento también puede incluir determinar, con el controlador, un par de torsión de entrehierro del generador en los intervalos de muestreo. Adicionalmente, el procedimiento puede incluir determinar, con el controlador, un cambio en una inercia encontrada por el generador en base, al menos en parte, al cambio en la velocidad de rotación y el par de torsión de entrehierro ("air-gap torque") en los intervalos de muestreo.

45 **[0015]** En otro modo de realización, el procedimiento puede incluir detectar, con el controlador, el/los parámetro(s) operativo(s) de la turbina eólica. El/Los parámetro(s) operativo(s) puede(n) incluir al menos uno de velocidad del viento, dirección del viento o un ángulo de *pitch* colectivo del rotor. Además, el procedimiento puede incluir detectar, con el controlador, un parámetro de salida de la turbina eólica. El parámetro de salida puede incluir al menos uno de voltaje, corriente o potencia. Además, el procedimiento puede incluir detectar, con el controlador, una correlación entre el parámetro de salida y el/los parámetro(s) operativo(s) que está por debajo de un umbral de correlación.

50 **[0016]** El procedimiento puede incluir reducir la consigna de par de torsión del generador para facilitar un incremento en la velocidad de rotación del generador. Incrementar la velocidad de rotación del generador facilita incrementar la tracción del acoplamiento deslizante.

55 **[0017]** En un modo de realización adicional, el procedimiento puede incluir incrementar la velocidad de rotación del generador motorizando el generador.

60 **[0018]** En otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un sistema para controlar una turbina eólica. El sistema puede incluir un generador acoplado de forma rotatoria a un rotor por medio de un acoplamiento deslizante y un controlador acoplado comunicativamente al generador. El controlador puede incluir al menos un procesador

configurado para realizar una pluralidad de operaciones. La pluralidad de operaciones puede incluir cualquiera de las operaciones y/o características descritas en el presente documento.

5 [0019] Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de la presente memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

Breve descripción de los dibujos

10 [0020] Una divulgación completa y suficiente de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, se expone en la memoria descriptiva, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

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

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

la FIG. 3 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un tren de potencia de la turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

25 la FIG. 4 ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de un sistema eléctrico para su uso con la turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 5 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de un controlador para su uso con la turbina eólica de acuerdo con presente divulgación;

30 la FIG. 6 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de una lógica de control de un sistema para controlar una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

35 la FIG. 7 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de una porción de la lógica de control de la FIG. 6 correspondiente a la detección de una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante de acuerdo con la presente divulgación;

40 la FIG. 8 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de una porción de la lógica de control de la FIG. 6 correspondiente a la detección de una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 9 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de una porción de la lógica de control de la FIG. 6 correspondiente a la detección de una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante de acuerdo con la presente divulgación; y

45 la FIG. 10 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de una porción de la lógica de control de la FIG. 6 correspondiente a la detección de una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante de acuerdo con la presente divulgación.

50 [0021] Se pretende que el uso repetido de caracteres de referencia en la presente memoria descriptiva y dibujos represente características o elementos iguales o análogos de la presente invención.

Descripción detallada

55 [0022] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, de los que uno o más ejemplos se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. 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 definida por las reivindicaciones. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de un modo de realización se pueden usar 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 como dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

60 [0023] Como se usa en el presente documento, los términos "primero", "segundo" y "tercero" se pueden usar de manera intercambiable para distinguir un componente de otro y no pretenden significar la localización o la importancia de los componentes individuales.

65

[0024] Los términos "acoplado", "fijo", "unido a" y similares se refieren tanto a acoplamiento, fijación o unión directos como acoplamiento, fijación o unión indirectos a través de uno o más componentes o características intermedias, a menos que se especifique de otro modo en el presente documento.

5 **[0025]** El lenguaje de aproximación, como se usa en el presente documento a lo largo de la memoria descriptiva y las reivindicaciones, se aplica para modificar cualquier representación cuantitativa que pueda variar permisiblemente sin dar como resultado un cambio en la función básica con la que está relacionada. En consecuencia, un valor modificado por un término o términos, tales como "aproximadamente" y "sustancialmente", no se debe limitar al valor preciso especificado. En al menos algunos casos, el lenguaje aproximado puede corresponder a la precisión de un
10 instrumento para medir el valor, o la precisión de los procedimientos o máquinas para construir o fabricar los componentes y/o sistemas. Por ejemplo, el lenguaje aproximado se puede referir a estar dentro de un margen de un 10 por ciento.

15 **[0026]** Aquí y a lo largo de la memoria descriptiva y de las reivindicaciones, las limitaciones de intervalo se combinan e intercambian, dichos intervalos se identifican e incluyen todos los subintervalos contenidos en los mismos a menos que el contexto o el lenguaje lo indique de otro modo. Por ejemplo, todos los intervalos divulgados en el presente documento incluyen los valores extremo, y los valores extremo son independientemente combinables entre sí.

20 **[0027]** En general, la presente divulgación se refiere a sistemas y procedimientos para controlar una turbina eólica para facilitar la aplicación del par de torsión de generador al tren de potencia de la turbina eólica. En particular, la presente divulgación incluye sistemas y procedimientos que mantienen, recuperan y/o incrementan la tracción del acoplamiento deslizante entre el generador y el rotor de la turbina eólica de modo que se puede aplicar el par de torsión de generador al tren de potencia. Por ejemplo, el par de torsión de generador se puede emplear para ralentizar la rotación del rotor, tal como se puede requerir durante un frenado de emergencia de la turbina eólica. En
25 consecuencia, la interacción del par de torsión de generador y la inercia del rotor puede exceder la tracción del acoplamiento deslizante y el acoplamiento deslizante puede comenzar a deslizarse, como está diseñado para hacerlo. El deslizamiento del acoplamiento deslizante se puede detectar, por ejemplo, por una desaceleración repentina del generador, una velocidad de rotación del eje lento que no se correlaciona con la velocidad de rotación del generador, una caída repentina de la inercia vista por el generador, una falta de correlación entre la velocidad del generador y los
30 parámetros operativos de la turbina eólica, y/o una falta de correlación entre los parámetros de salida de la turbina eólica y los parámetros operativos. Estas condiciones, por ejemplo, pueden indicar que es posible que el generador ya no esté acoplado operativamente al rotor de la turbina eólica y, por lo tanto, cualquier par de torsión generado por el generador puede no afectar al rotor. Cuando el deslizamiento se detecta por un controlador de la turbina eólica, la consigna de par de torsión del generador se puede modificar de modo que la velocidad del generador se puede
35 cambiar, en general incrementar, para reducir el par de torsión presente en el acoplamiento deslizante. Cuando el generador alcanza la velocidad de rotación apropiada, se puede incrementar la tracción del acoplamiento deslizante de modo que cesa el deslizamiento del acoplamiento deslizante. Una vez que se restablece la tracción, el par de torsión del generador se puede transmitir nuevamente al tren de potencia de la turbina eólica.

40 **[0028]** En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica 100 de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, la turbina eólica 100 en general incluye una torre 102 que se extiende desde una superficie de soporte 104, una góndola 106 montada en la torre 102 y un rotor 108 acoplado a la góndola 106. El rotor 108 incluye un buje rotatorio 110 y al menos una pala de rotor 112
45 acoplada a y que se extiende hacia fuera desde el buje 110. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el rotor 108 incluye tres palas de rotor 112. Sin embargo, en un modo de realización alternativo, el rotor 108 puede incluir más o menos de tres palas de rotor 112. Cada pala de rotor 112 se puede espaciar alrededor del buje 110 para facilitar la rotación del rotor 108 para permitir que la energía cinética se transfiera del viento a energía mecánica utilizable y, posteriormente, energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 110 se puede acoplar de forma rotatoria a un generador eléctrico 118 (FIG. 2) de un sistema eléctrico 150 (FIG. 2) situado dentro de la góndola 106 para permitir que se produzca
50 energía eléctrica.

[0029] La turbina eólica 100 también puede incluir un controlador 200 centralizado dentro de la góndola 106. Sin embargo, en otros modos de realización, el controlador 200 se puede localizar dentro de cualquier otro componente de la turbina eólica 100 o en una localización fuera de la turbina eólica. Además, el controlador 200 se puede acoplar
55 de forma comunicativa a cualquier número de los componentes de la turbina eólica 100 para controlar los componentes. Como tal, el controlador 200 puede incluir un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por tanto, en varios modos de realización, el controlador 200 puede incluir instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan, configuran el controlador 200 para realizar diversas funciones diferentes, tales como recibir, transmitir y/o ejecutar señales de control de turbina eólica.

60 **[0030]** En referencia ahora a las FIGS. 2-4, se ilustran una vista interna simplificada de un modo de realización de la góndola 106, un diagrama esquemático de un modo de realización de un tren de potencia 146 y un sistema eléctrico ejemplar 150 de la turbina eólica 100 mostrada en la FIG. 1. Como se muestra, el generador 118 se puede acoplar al rotor 108 para producir potencia eléctrica a partir de la energía de rotación generada por el rotor 108. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el rotor 108 puede incluir un eje de rotor 122 acoplado al buje 110 para su rotación con el mismo. El eje de rotor 122 se puede soportar de forma rotatoria por un rodamiento principal
65

144. El eje de rotor 122, a su vez, se puede acoplar de forma rotatoria a un eje rápido 124 del generador 118 a través de una multiplicadora 126 conectada a un bastidor de soporte de bancada 136 por uno o más brazos de par de torsión 142. Como se entiende en general, el eje de rotor 122 puede proporcionar una entrada de par de torsión alto de velocidad baja a la multiplicadora 126 en respuesta a la rotación de las palas de rotor 112 y del buje 110. La multiplicadora 126 a continuación se puede configurar con una pluralidad de engranajes 148 para convertir la entrada de par de torsión alto y velocidad baja en una salida de par de torsión bajo y velocidad alta para accionar el eje rápido 124 y, por tanto, el generador 118. En un modo de realización, la multiplicadora 126 se puede configurar con múltiples proporciones de engranajes para producir velocidades de rotación variables del eje rápido para una entrada de velocidad baja dada o viceversa.

[0031] En un modo de realización, el rotor 108 se puede ralentizar por medio de un par de torsión generado por el generador 118. Como el generador 118 puede generar un par de torsión contrario a la rotación del rotor 108, el eje rápido 124 se puede equipar con un acoplamiento deslizante 154. El acoplamiento deslizante 154 puede evitar daños a un componente del tren de potencia 146 debido a la sobrecarga del tren de potencia 146. Como tal, el acoplamiento deslizante 154 puede tener un umbral de liberación, o tracción, por encima del que el acoplamiento deslizante 154 puede permitir que las primera y segunda porciones 162, 164 del eje rápido 124 tengan velocidades de rotación diferentes. Se debe apreciar que, si el momento de torsión en el acoplamiento deslizante 154 excede el umbral de liberación/tracción, el generador 118 se puede desacoplar comunicativamente del rotor 108. En dicho caso, el par de torsión desarrollado por el generador 118 puede no estar disponible para ralentizar el rotor 108 o un incremento en la velocidad de rotación del rotor 108 puede no estar disponible para un incremento en la producción de potencia.

[0032] Cada pala de rotor 112 también puede incluir un mecanismo de control de *pitch* 120 configurado para rotar la pala de rotor 112 alrededor de su eje de *pitch* 116. Cada mecanismo de control de *pitch* 120 puede incluir un motor de accionamiento de *pitch* 128 (por ejemplo, cualquier motor eléctrico, hidráulico o neumático adecuado), una caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 130 y un piñón de accionamiento de *pitch* 132. En dichos modos de realización, el motor de accionamiento de *pitch* 128 se puede acoplar a la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 130 de modo que el motor de accionamiento de *pitch* 128 imparta fuerza mecánica a la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 130. De forma similar, la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 130 se puede acoplar al piñón de accionamiento de *pitch* 132 para la rotación con el mismo. El piñón de accionamiento de *pitch* 132 puede estar, a su vez, en enganche rotacional con un rodamiento de *pitch* 134 acoplado entre el buje 110 y una correspondiente pala de rotor 112 de modo que la rotación del piñón de accionamiento de *pitch* 132 provoca la rotación del rodamiento de *pitch* 134. Por tanto, en dichos modos de realización, la rotación del motor de accionamiento de *pitch* 128 acciona la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 130 y el piñón de accionamiento de *pitch* 132, rotando, de este modo, el rodamiento de *pitch* 134 y la(s) pala(s) de rotor 112 alrededor del eje de *pitch* 116. De forma similar, la turbina eólica 100 puede incluir uno o más mecanismos de accionamiento de orientación 138 acoplados de forma comunicativa al controlador 200, estando configurado cada mecanismo de accionamiento de orientación 138 para cambiar el ángulo de la góndola 106 con respecto al viento (por ejemplo, acoplándose a un rodamiento de orientación 140 de la turbina eólica 100).

[0033] En referencia en particular a la FIG. 2, en un modo de realización, la turbina eólica 100 puede incluir un sensor ambiental 156 configurado para recopilar datos indicativos de una o más condiciones ambientales. El sensor ambiental 156 se puede acoplar operativamente al controlador 200. Por tanto, en un modo de realización, el/los sensor(es) ambiental(es) 156 puede(n) ser, por ejemplo, una veleta, un anemómetro, un sensor LIDAR un termómetro, un barómetro, o cualquier otro sensor adecuado. Los datos recopilados por el/los sensor(es) ambiental(es) 156 puede(n) incluir medidas de velocidad del viento, dirección del viento, variación de la velocidad del viento con la altura, ráfagas de viento, variación de la dirección del viento con la altura, presión atmosférica y/o temperatura. En al menos un modo de realización, el/los sensor(es) ambiental(es) 156 se puede(n) montar en la góndola 106 en una localización a sotavento del rotor 108. En modos de realización alternativos, el/los sensor(es) ambiental(es) 156 se puede(n) acoplar o integrar con el rotor 108. Se debe apreciar que el/los sensor(es) ambiental(es) 156 puede(n) incluir una red de sensores y se pueden situar lejos de la turbina 100.

[0034] Además, la turbina eólica 100 puede incluir al menos un sensor operativo 158. El/Los sensor(es) operativo(s) 158 se puede(n) configurar para detectar un rendimiento de la turbina eólica 100, por ejemplo, en respuesta a la condición ambiental. Por ejemplo, el/los sensor(es) operativo(s) 158 puede(n) ser un sensor de velocidad de rotación acoplado operativamente al controlador 200. El/Los sensor(es) operativo(s) 158 se puede(n) dirigir al eje de rotor 122 de la turbina eólica 100 y/o al generador 118. El/los sensor(es) operativo(s) 158 puede(n) recopilar datos indicativos de la velocidad de rotación y/o la posición de rotación del eje de rotor 122 y, por tanto, del rotor 108 en forma de velocidad del rotor y/o azimut del rotor. El/los sensor(es) operativo(s) 158 puede(n) ser, en un modo de realización, un tacómetro analógico, un tacómetro de CC, un tacómetro de CA, un tacómetro digital, un tacómetro de contacto, un tacómetro sin contacto o un tacómetro de tiempo y frecuencia. En un modo de realización, el/los sensor(es) operativo(s) 158 pueden ser, por ejemplo, un codificador, tal como un codificador óptico.

[0035] En un modo de realización, el/los sensor(es) operativo(s) 158 y/o sensor(es) ambiental(es) 156 se pueden configurar para monitorizar los parámetros operativos 348 (FIG. 9) de la turbina eólica 100. Por ejemplo, el/los sensor(es) operativo(s) 158 y/o sensor(es) ambiental(es) 156 puede(n) monitorizar al menos uno de velocidad del viento, dirección del viento o un ángulo de *pitch* colectivo del rotor 108.

[0036] Además, en un modo de realización, la turbina eólica 100 puede incluir un sensor de salida 160 configurado para monitorizar al menos un parámetro de salida 360 (FIG. 10) del sistema eléctrico 150. Por ejemplo, al monitorizar el/los parámetro(s) de salida 360, el sensor de salida 160 puede monitorizar el voltaje, corriente y/o potencia generada y/o consumida por la turbina eólica 100. En consecuencia, el/los sensor(es) operativo(s) 158 pueden ser, en un modo de realización, un amperímetro, un voltímetro, un óhmetro y/o cualquier otro sensor adecuado para monitorizar el/los parámetro(s) operativo(s) 360 del sistema eléctrico 150 y de este modo la turbina eólica 100.

[0037] También se debe apreciar que, como se usa en el presente documento, el término "monitorizar" y variaciones del mismo indica que los diversos sensores de la turbina eólica 100 se pueden configurar para proporcionar una medición directa de los parámetros que se monitorizan o una medición indirecta de dichos parámetros. Por tanto, los sensores descritos en el presente documento se pueden usar, por ejemplo, para generar señales relacionadas con el parámetro que se monitoriza, que se pueden utilizar a continuación por el controlador 200 para determinar una condición o respuesta de la turbina eólica 100.

[0038] En referencia en particular a la FIG. 4, en un modo de realización, el sistema eléctrico 150 puede incluir diversos componentes para convertir la energía cinética del rotor 108 en una salida eléctrica de una forma aceptable para una red de potencia conectada. Por ejemplo, en un modo de realización, el generador 118 puede ser un generador de inducción doblemente alimentado (DFIG) que tiene un estátor 117 y un rotor de generador 119. El generador 118 se puede acoplar a un bus de estátor 166 y a un convertidor de potencia 168 por medio de un bus de rotor 170. En una configuración de este tipo, el bus de estátor 166 puede proporcionar una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) desde un estátor del generador 118, y el bus de rotor 170 puede proporcionar una potencia multifásica de salida (por ejemplo, potencia trifásica) del rotor de generador 119 del generador 118. Adicionalmente, el generador 118 se puede acoplar por medio del bus de rotor 170 a un convertidor de lado de rotor 172. El convertidor de lado de rotor 172 se puede acoplar a un convertidor de lado de línea 174 que, a su vez, se puede acoplar a un bus de lado de línea 176.

[0039] En un modo de realización, el convertidor de lado de rotor 172 y el convertidor de lado de línea 174 se pueden configurar para el modo en operación normal en una disposición trifásica de modulación por ancho de pulso (PWM) usando transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) como dispositivos de conmutación. Se pueden usar otros dispositivos de conmutación adecuados, tales como tiristores conmutados de puerta aislada, MOSFET, transistores bipolares, rectificadores controlados con silicón y/u otros dispositivos de conmutación adecuados. El convertidor de lado de rotor 172 y el convertidor de lado de línea 174 se pueden acoplar por medio de un enlace de CC 173 a través del que puede estar un condensador de enlace de CC 175.

[0040] En un modo de realización, el convertidor de potencia 168 se puede acoplar al controlador 200 configurado como un controlador de convertidor 202 para controlar la operación del convertidor de potencia 168. Por ejemplo, el controlador de convertidor 202 puede enviar consignas de control al convertidor de lado de rotor 172 y al convertidor de lado de línea 174 para controlar la modulación de los elementos de conmutación usados en el convertidor de potencia 168 para establecer una instrucción de par de torsión de generador y/o salida de potencia deseada.

[0041] Como se representa además en la FIG. 4, el sistema eléctrico 150, en un modo de realización, puede incluir un transformador 178 que acopla la turbina eólica 100 a una red eléctrica 179. El transformador 178, en un modo de realización, puede ser un transformador de 3 devanados que incluye un devanado primario de voltaje alto (por ejemplo, mayor de 12 KVAC) 180. El devanado primario de alto voltaje 180 se puede acoplar a la red eléctrica 179. El transformador 178 también puede incluir un devanado secundario de voltaje medio 182 (por ejemplo, 6 KVAC) acoplado al bus de estátor 166 y un devanado auxiliar de voltaje bajo (por ejemplo, 575 VAC, 690 VAC, etc.) 184 acoplado al bus de línea 176. Se debe apreciar que el transformador 178 puede ser un transformador de tres devanados como se muestra, o de forma alternativa, puede ser un transformador de dos devanados que tiene solo un devanado primario 180 y un devanado secundario 182; puede ser un transformador de cuatro devanados que tiene un devanado primario 180, un devanado secundario 182 y un devanado auxiliar 184 y un devanado auxiliar adicional; o puede tener cualquier otro número adecuado de devanados.

[0042] En un modo de realización adicional, el sistema eléctrico 150 puede incluir una alimentación de potencia auxiliar 186 acoplada a la salida del convertidor de potencia 168. La alimentación de potencia auxiliar 186 puede actuar como una fuente de potencia para diversos componentes del sistema de turbina eólica 100. Por ejemplo, la alimentación de potencia auxiliar 186 puede alimentar ventiladores, bombas, motores y otros componentes adecuados del sistema de turbina eólica 100.

[0043] En un modo de realización, el sistema eléctrico 150 también puede incluir varios disyuntores de circuito, fusibles, contactores y otros dispositivos para controlar y/o proteger los diversos componentes del sistema eléctrico 150. Por ejemplo, el sistema eléctrico 150, en un modo de realización, puede incluir un disyuntor de circuito de red 188, un disyuntor de circuito de bus de estátor 190 y/o un disyuntor de circuito de bus de línea 192. El/Los disyuntor(es) de circuito 188, 190, 192 del sistema eléctrico 150 puede(n) conectar o desconectar correspondientes componentes del sistema eléctrico 150 cuando una condición del sistema eléctrico 150 se acerca a un umbral operativo del sistema eléctrico 150.

[0044] En referencia ahora a las FIGS. 5-10, se presentan múltiples modos de realización de un sistema 300 para controlar la turbina eólica 100 de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra en particular en la FIG. 5, se ilustra un diagrama esquemático de un modo de realización de componentes adecuados que se pueden incluir dentro del sistema 300. Por ejemplo, como se muestra, el sistema 300 puede incluir el controlador 200 acoplado comunicativamente a los sensor(es) operativo(s) 158, el/los sensor(es) de salida 160 y/o el/los sensor(es) ambiental(es) 156. Además, como se muestra, el controlador 200 incluye uno o más procesadores 206 y dispositivos de memoria asociados 208 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). Adicionalmente, el controlador 200 también puede incluir un módulo de comunicaciones 210 para facilitar las comunicaciones entre el controlador 200 y los diversos componentes de la turbina eólica 100. Además, el módulo de comunicaciones 210 puede incluir una interfaz de sensor 212 (por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas desde el/los sensor(es) 156, 158 se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 206. Se debe apreciar que el/los sensor(es) 156, 158, 160 se pueden acoplar de forma comunicativa al módulo de comunicaciones 210 usando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, el/los sensor(es) 156, 158, 160 se puede(n) acoplar a la interfaz de sensor 212 por medio de una conexión por cable. Sin embargo, en otros modos de realización, el/los sensor(es) 156, 158, 160 se puede(n) acoplar a la interfaz de sensor 212 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Adicionalmente, el módulo de comunicaciones 210 también se puede acoplar operativamente a un módulo de control de estado operativo 214 configurado para cambiar al menos un estado operativo de la turbina eólica.

[0045] 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 aplicación y otros circuitos programables. Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 208 puede(n) comprender en general elemento(s) de memoria, incluyendo, 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 208, en general, se puede(n) configurar para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 206, configuran el controlador 200 para que realice diversas funciones, incluyendo, pero sin limitarse a, detectar un acontecimiento operativo anómalo e iniciar un modo de frenado potenciado para la turbina eólica 100 como se describe en el presente documento, así como diversas otras funciones implementadas por ordenador adecuadas.

[0046] En referencia en particular a la FIG. 6 como se muestra en 302, el controlador 200 se puede configurar para detectar una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante 154. En respuesta a detectar la pérdida de tracción del acoplamiento deslizante 154, el controlador 200, en 304, puede anular una consigna de par de torsión de generador 118. Como se representa en 306, anular la consigna de par de torsión de generador puede alterar la velocidad de rotación del generador 118. La alteración de la velocidad de rotación del generador 118, en 308, puede incrementar la tracción del acoplamiento deslizante 154. Se debe apreciar que incrementar la tracción del acoplamiento deslizante 154 puede facilitar, en 310, la aplicación del par de torsión de generador al tren de potencia 146 de la turbina eólica 100. Se debe apreciar además que alterar la consigna de par de torsión de generador puede incluir un cambio en un voltaje de rotor, un ángulo entre un rotor y un vector de voltaje de alimentación de estator y/o un deslizamiento para afectar al par de torsión de generador.

[0047] Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador 200 se puede configurar para monitorizar un nivel de par de torsión del acoplamiento deslizante 154. Se debe apreciar que en un modo de realización en el que el nivel de par de torsión del acoplamiento deslizante 154 excede el umbral de liberación nominal del acoplamiento deslizante 154, el acoplamiento deslizante 154 puede desacoplar operativamente el generador 118 del eje de rotor 122. En dicho modo de realización, el par de torsión desarrollado por el generador 118 a continuación puede no estar disponible para ayudar con la ralentización del rotor 108 o la velocidad de rotación del rotor 108 puede no estar disponible para la generación de potencia. En consecuencia, el sistema 300 puede alterar la velocidad de rotación del generador 118 a medida que el nivel de par de torsión del acoplamiento deslizante 154 se acerca/excede el umbral de liberación para mantener o restablecer el acoplamiento operable entre el generador 118 y el rotor 108.

[0048] En un modo de realización, el controlador 200 se puede configurar como el controlador de convertidor 202. El controlador de convertidor 202 puede tener datos de rendimiento de mayor fidelidad relacionados con el sistema eléctrico 150 y pueden estar disponibles para otros controladores, tales como un controlador de turbina o un controlador de parque. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador de convertidor 202 puede tener una frecuencia de muestreo que sea al menos un orden de magnitud mayor que la frecuencia de muestreo de un controlador 200 configurado como un controlador de turbina. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador de convertidor 202 puede tener una frecuencia de muestreo de al menos una muestra cada 200 microsegundos. En otras palabras, el controlador de convertidor 202 puede recibir datos relacionados con el sistema eléctrico 150 al menos una vez cada 200 microsegundos. El controlador de convertidor 202 también puede generar señales de

consigna para alterar un estado de un componente del sistema eléctrico 150 a la misma frecuencia de al menos una vez cada 200 microsegundos. En consecuencia, el controlador de convertidor 202 puede tener una mayor capacidad para detectar y reaccionar ante el deslizamiento del acoplamiento deslizante 154 en base a datos relacionados con el sistema eléctrico 150 (por ejemplo, la velocidad de rotación del generador, el par de torsión de entrehierro, etc.) que otros controladores 200. Se debe apreciar que el deslizamiento del acoplamiento deslizante 154 debido a una pérdida de tracción puede dar como resultado el desacoplamiento operativo del generador 118 del resto del tren de potencia 146 de la turbina eólica 100. Como el par de torsión de generador puede ser en particular crítico para la desaceleración del rotor 108 durante un acontecimiento operativo anómalo, tal como una condición de exceso de velocidad, puede ser deseable la detección rápida de la pérdida de tracción del acoplamiento deslizante 154.

[0049] En referencia ahora a la FIG. 7, se representa un diagrama de flujo de un modo de realización de una porción de la lógica de control del sistema 300 correspondiente a la detección de una pérdida de tracción en 302. En un modo de realización, como se muestra, el controlador 200 puede recibir datos de velocidad 312 indicativos de al menos una velocidad de rotación desde un codificador acoplado operativamente al eje rápido 124 del tren de potencia 146 y/o al rotor de generador 119.

[0050] En un modo de realización, los datos de velocidad 312 pueden ser indicativos de una velocidad de rotación del generador 118. En consecuencia, en un modo de realización, el controlador 200, en 314, se puede configurar para detectar la velocidad de rotación en un primer intervalo de muestreo. Además, el controlador 200, en 316, se puede configurar para detectar la velocidad de rotación en un segundo intervalo de muestreo posterior. En un modo de realización como se muestra en 318, el controlador 200 del sistema 300 se puede configurar para detectar un cambio de velocidad del generador 118 entre los intervalos de muestreo. En un modo de realización, el cambio de velocidad puede ser una desaceleración. La desaceleración puede ser una desaceleración del rotor de generador 119 y puede ser indicativa de una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante 154.

[0051] En un modo de realización, los intervalos de muestreo pueden ser secuenciales, pero en otro modo de realización, los intervalos de muestreo se pueden separar por algún número de intervalos de muestreo intermedios. Sin embargo, se debe apreciar que disminuir el tiempo transcurrido entre los intervalos de muestreo (por ejemplo, incrementar la frecuencia de los intervalos de muestreo) puede incrementar la capacidad de respuesta del sistema 300 al inicio de una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante 154.

[0052] Todavía en referencia a la FIG. 7, como se representa en 320, el controlador 200 puede determinar una tasa de desaceleración del generador 118 en base a las velocidades de rotación detectadas en los intervalos de muestreo en 314 y 316. En un modo de realización, el controlador, en 322, puede comparar la tasa de desaceleración con un umbral de tasa de cambio 324. En consecuencia, el controlador 200, en 326, puede determinar que la tasa de desaceleración es mayor que el umbral, indicando por lo tanto, en 328, una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante 154. En otras palabras, el controlador 200 (por ejemplo, el controlador de convertidor 202) puede determinar que el generador 118 está desacelerando a una tasa mayor de la que sería posible si el generador 118 permaneciera acoplado operativamente al rotor 108.

[0053] Se debe apreciar que la inercia de la masa rotatoria del rotor 108 puede requerir una cantidad significativa de contrapar de torsión para desacelerar. En consecuencia, el controlador 200 se puede configurar para calcular la desaceleración máxima del rotor 108 que se puede lograr dado el par de torsión disponible que se puede desarrollar por el generador 118. Sin embargo, si el acoplamiento deslizante comienza a deslizarse, la inercia del rotor 108 puede que no se experimente por el generador 118 y, por lo tanto, el generador 118 puede desacelerar sin ninguna fuerza opuesta y, por tanto, con un incremento en la tasa mayor del que se lograría cuando se acopla operativamente al rotor 108.

[0054] En referencia ahora a la FIG. 8, se representa un diagrama de flujo de un modo de realización de una porción de la lógica de control del sistema 300 correspondiente a la detección de una pérdida de tracción en 302. En un modo de realización, el controlador 200, en 330, puede detectar una velocidad de rotación del eje de rotor lento 122 en base a los datos de eje lento recibidos 332. Como se muestra en 336, el controlador 200 también puede recibir datos de velocidad de generador 334 para detectar una velocidad de rotación del generador 118. Además, en un modo de realización, el controlador 200, en 338, puede determinar un ratio de velocidad de rotación que correlaciona la velocidad de rotación del generador 118 con la velocidad de rotación del eje de rotor lento 122. Como se representa en 340, el controlador 200 puede comparar la proporción de velocidad de rotación con un umbral de correlación de velocidad 342. En consecuencia, el controlador 200, en 344, puede determinar que la proporción de la velocidad de rotación del generador 118 con respecto a la velocidad de rotación del eje de rotor lento 122 es menor que el umbral de correlación, indicando por lo tanto, en 328, una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante 154. En otras palabras, cuando el generador 118 se acopla operativamente al eje de rotor lento 122 por medio del acoplamiento deslizante 154, la velocidad de rotación del generador 118 se puede determinar por la velocidad de rotación del eje de rotor lento 122 como se modifica por la multiplicadora 126. Sin embargo, cuando se pierde tracción en el acoplamiento deslizante 154, la velocidad de rotación del generador 118 puede no estar correlacionada con la velocidad de rotación del eje de rotor lento 122 de modo que la velocidad de rotación de uno no influye en la velocidad de rotación del otro.

[0055] En referencia ahora a la FIG. 9, se representa un diagrama de flujo de un modo de realización de una porción de la lógica de control del sistema 300 correspondiente a la detección de una pérdida de tracción en 302. En un modo de realización, el controlador 200, en 346, puede recibir una indicación de al menos un parámetro operativo 348. El/Los parámetro(s) operativo(s) 348 puede(n) incluir indicaciones de velocidad del viento, dirección del viento y/o un ángulo de *pitch* colectivo del rotor 108. El controlador 200 también puede recibir datos de velocidad de generador 334 para detectar la velocidad de rotación del generador 118 en 336. Adicionalmente, en un modo de realización, el controlador 200, en 350, puede determinar una correlación entre la velocidad de rotación del generador 118 y el parámetro operativo 348. Como se representa en 352, el controlador 200 puede comparar la correlación determinada con un umbral de correlación 354. En consecuencia, el controlador 200, en 356, puede determinar que la correlación es menor que el umbral de correlación, indicando por lo tanto, en 328, una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante 154. En otras palabras, en un modo de realización, cuando el generador 118 se acopla operativamente al rotor 108 y la turbina eólica está en operación bajo el/los parámetro(s) operativo(s) 348 indicados, se puede anticipar una determinada velocidad de rotación del generador 118 que se correlaciona con el/los parámetro(s) operativo(s) 348. Sin embargo, cuando el deslizamiento está presente en el acoplamiento deslizante 154, la velocidad de rotación del generador 118 puede no ser la velocidad de rotación anticipada para el/los parámetro(s) operativo(s) detectado(s) 348 y, por lo tanto, puede no estar correlacionada con el/los parámetro(s) operativo(s) 348.

[0056] En referencia ahora a la FIG. 10, se representa un diagrama de flujo de un modo de realización de una porción de la lógica de control del sistema 300 correspondiente a la detección de una pérdida de tracción en 302. En un modo de realización, el controlador 200, en 346, puede recibir una indicación del/de los parámetro(s) operativo(s) 348. El controlador 200, en 358, también se puede configurar para detectar un parámetro de salida 360 de la turbina eólica 100. El parámetro de salida 360 puede incluir indicaciones de voltaje, corriente y/o potencia de salida del sistema eléctrico 150 de la turbina eólica 100. Como se representa en 362, el controlador 200 puede determinar una correlación entre el parámetro de salida 360 y el/los parámetro(s) operativo(s) 348. Como se representa en 364, el controlador 200 puede comparar la correlación determinada con un umbral de correlación 366. En consecuencia, el controlador 200, en 368, puede determinar que la correlación es menor que el umbral de correlación, indicando por lo tanto, en 328, una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante 154. En otras palabras, en un modo de realización, cuando el generador 118 se acopla operativamente al rotor 108 y la turbina eólica está en operación bajo el/los parámetro(s) operativo(s) indicado(s) 348, se puede anticipar una determinada salida de la turbina eólica 100. Por ejemplo, en condiciones operativas normales, para una velocidad y dirección del viento dadas (por ejemplo, parámetro(s) operativo(s) 348, se puede esperar que una turbina eólica 100 desarrolle una determinada salida de potencia (por ejemplo, parámetro de salida 360) para el suministro a la red de potencia. Sin embargo, en un modo de realización en el que el generador 118 se desacopla operativamente del tren de potencia 146 por una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante 154, la salida de voltaje, corriente y/o potencia de la turbina eólica 100 puede disminuir significativamente.

[0057] En referencia de nuevo a la FIG. 6, en un modo de realización, la detección de la pérdida de tracción en 300 puede incluir detectar, en 370, una disminución en una inercia encontrada por el generador 118. La inercia encontrada por el generador 118 puede incluir al menos una inercia del rotor 108. Sin embargo, en un modo de realización, la inercia encontrada, o vista, por el generador 118 también puede incluir la inercia del eje de rotor lento 122 y una porción acoplada de la pluralidad de engranajes 148. La inercia encontrada por el generador 118 puede ser la fuerza de rotación resistida por el generador 118 en un modo de realización en la que el par de torsión de frenado del generador se aplica al tren de potencia 146, como en respuesta a un acontecimiento operativo anómalo.

[0058] Como se representa en 372, en un modo de realización, el controlador 200 se puede configurar para detectar la disminución en la inercia encontrada/resistida por el generador 118 al recibir una indicación de la velocidad de rotación del generador 118 en el primer intervalo de muestreo y un segundo intervalo de muestreo posterior. En base a las indicaciones de velocidad de rotación, el controlador, en 374, puede determinar un cambio en la velocidad de rotación del generador 118. En particular, las indicaciones, en un modo de realización, pueden corresponder a una desaceleración del generador 118 resultante de que el par de torsión de frenado del generador 118 no tenga oposición por la inercia del rotor 108 durante una operación de frenado. Además de las indicaciones de velocidad de rotación, el controlador 200, en 376, se puede configurar para determinar un par de torsión de entrehierro del generador 118 en los intervalos de muestreo. Como se representa además en 378, el controlador 200 puede utilizar al menos el cambio en la velocidad de rotación y el par de torsión de entrehierro en los intervalos de muestreo para determinar un cambio en la inercia encontrada por el generador 118. Se debe apreciar que utilizar la velocidad de rotación del generador 118 y el par de torsión de entrehierro calculado del generador 118 se puede lograr utilizando solo componentes del sistema eléctrico 150 y sin requerir sensores y/o protocolos de comunicaciones adicionales, tales como un datos de velocidad 332 del eje de rotor lento 122. En consecuencia, el controlador de convertidor 202, en un modo de realización, puede detectar rápidamente una disminución en la inercia encontrada por el generador 118, facilitando de este modo una respuesta rápida a la pérdida de tracción del acoplamiento deslizante 154.

[0059] Todavía en referencia a la FIG. 6, en un modo de realización, anular la consigna de par de torsión de generador, como se representa en 380, puede incluir reducir la consigna de par de torsión de generador 118. Reducir la consigna de par de torsión del generador puede facilitar un incremento en la velocidad de rotación del generador 118 al reducir la resistencia a la rotación del rotor de generador 119. En consecuencia, como se representa en 382, el sistema 300 se puede configurar para alterar la velocidad de rotación del generador incrementando la velocidad de

rotación. En al menos un modo de realización, incrementar la velocidad de rotación del generador 118 puede incluir, como se representa en 384, motorizar el generador para acelerar el rotor de generador 119. Se debe apreciar que incrementar la velocidad de rotación del generador puede facilitar incrementar la tracción del acoplamiento deslizante 154 al llevar una diferencia entre las velocidades de rotación de la primera y segunda porciones 162, 164 del eje rápido 124 dentro de un grado de sincronía aceptable.

5
10
15
[0060] Además, el experto en la técnica reconocerá la intercambiabilidad de diversas características de diferentes modos de realización. De forma similar, las diversas etapas de procedimiento y características descritas, así como otros equivalentes conocidos para uno de dichos procedimientos y característica, se pueden mezclar y combinar por un experto en esta técnica para construir sistemas y técnicas adicionales de acuerdo con los principios de la presente divulgación. Por supuesto, se debe entender que no todos de dichos objetivos o ventajas descritos anteriormente se pueden lograr necesariamente de acuerdo con cualquier modo de realización particular. Por tanto, por ejemplo, los expertos en la técnica reconocerán que los sistemas y técnicas descritos en el presente documento se pueden realizar o llevar a cabo de manera que logre u optimice una ventaja o grupo de ventajas, como se enseña en el presente documento sin lograr necesariamente otros objetivos o ventajas como se pueda enseñar o sugerir en el presente documento.

20
[0061] Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para permitir que cualquier experto en la técnica practique la invención, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento para controlar una turbina eólica, teniendo la turbina eólica un tren de potencia que comprende un rotor acoplado de forma rotatoria a un generador por medio de un acoplamiento deslizante, comprendiendo el procedimiento:

detectar, con un controlador, una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante (302);
en respuesta a detectar la pérdida de tracción, reducir, con el controlador, una consigna de par de torsión de generador para incrementar la velocidad de rotación del generador (304,306); e
10 incrementar la tracción del acoplamiento deslizante en respuesta al incremento en la velocidad de rotación del generador (308),
en el que incrementar la tracción del acoplamiento deslizante facilita la aplicación del par de torsión de generador al tren de potencia de la turbina eólica (310).
- 15 2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además:
recibir, con el controlador, una indicación de al menos una velocidad de rotación desde un codificador acoplado operativamente a al menos uno de un eje rápido del tren de potencia o un rotor de generador.
- 20 3. El procedimiento de cualquier reivindicación precedente, en el que el controlador es un controlador de convertidor, y en el que el controlador de convertidor tiene una frecuencia de muestreo de al menos una muestra cada 200 microsegundos.
- 25 4. El procedimiento de la reivindicación 2 o 3, en el que la al menos una velocidad de rotación es una velocidad de rotación del generador, y en el que detectar la pérdida de tracción del acoplamiento deslizante comprende además:
detectar, con el controlador, la velocidad de rotación en un primer intervalo de muestreo;
detectar, con el controlador, la velocidad de rotación en un segundo intervalo de muestreo posterior; y
30 detectar, con el controlador, un cambio de velocidad del generador entre el primer y segundo intervalos de muestreo, en el que el cambio de velocidad comprende una desaceleración.
- 35 5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que detectar el cambio de velocidad del generador comprende además:
determinar, con el controlador, una tasa de desaceleración del generador en base a las velocidades de rotación detectadas en los intervalos de muestreo, en el que la tasa de desaceleración es mayor que un umbral de tasa de cambio para la turbina eólica.
- 40 6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 4 o 5, en el que el tren de potencia comprende además un eje lento que acopla el rotor a una multiplicadora, estando acoplada la multiplicadora al generador por medio del acoplamiento deslizante, comprendiendo además el procedimiento:
detectar, con el controlador, una velocidad de rotación del eje de rotor lento;
detectar, con el controlador, una velocidad de rotación del generador;
45 determinar, con el controlador, una proporción de la velocidad de rotación del generador con respecto a la velocidad de rotación del eje de rotor lento que es menor que un umbral de correlación de velocidad.
- 50 7. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 4, 5 o 6, en el que al menos una velocidad de rotación es una velocidad de rotación del generador, comprendiendo además el procedimiento:
recibir, con el controlador, una indicación de al menos un parámetro operativo de la turbina eólica, comprendiendo el al menos un parámetro operativo al menos uno de velocidad del viento, dirección del viento o un ángulo de *pitch* colectivo del rotor; y
55 determinar, con el controlador, una correlación entre al menos un parámetro operativo y la velocidad de rotación del generador que está por debajo de un correspondiente umbral de correlación.
- 60 8. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que detectar la pérdida de tracción del acoplamiento deslizante comprende además:
detectar, con el controlador, una disminución en una inercia encontrada por el generador, en el que la inercia encontrada por el generador incluye al menos una inercia de rotor.
- 65 9. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que detectar la disminución de la inercia encontrada por el generador comprende:
recibir, con el controlador, una indicación de la velocidad de rotación del generador en un primer intervalo de muestreo y en un segundo intervalo de muestreo posterior, siendo las indicaciones indicativas de un cambio en la velocidad de rotación;

- determinar, con el controlador, un par de torsión de entrehierro del generador en el primer y segundo intervalos de muestreo; y
determinar, con el controlador, un cambio en una inercia encontrada por el generador en base, al menos en parte, al cambio en la velocidad de rotación y el par de torsión de entrehierro en el primer y segundo intervalos de muestreo.
- 5
10. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que detectar la pérdida de tracción del acoplamiento deslizante comprende además:
- 10
- detectar, con el controlador, al menos un parámetro operativo de la turbina eólica, comprendiendo el al menos un parámetro operativo al menos uno de velocidad del viento, dirección del viento o un ángulo de *pitch* colectivo del rotor;
detectar, con el controlador, un parámetro de salida de la turbina eólica, comprendiendo el parámetro de salida al menos uno de voltaje, corriente o potencia; y
15
- determinar, con el controlador, una correlación entre el parámetro de salida y el al menos un parámetro operativo que está por debajo de un umbral de correlación.
11. El procedimiento de cualquier reivindicación precedente, en el que incrementar la velocidad de rotación del generador facilita incrementar la tracción del acoplamiento deslizante.
- 20
12. El procedimiento de cualquier reivindicación precedente, en el que incrementar la tracción del acoplamiento deslizante comprende además:
incrementar la velocidad de rotación del generador motorizando el generador.
- 25
13. Un sistema para controlar una turbina eólica, comprendiendo el sistema:
- un generador (118) acoplado de forma rotatoria a un rotor por medio de un acoplamiento deslizante (154);
y
un controlador (200) acoplado comunicativamente al generador, comprendiendo el controlador al menos un procesador configurado para realizar una pluralidad de operaciones, comprendiendo la pluralidad de operaciones:
- 30
- detectar una pérdida de tracción del acoplamiento deslizante,
en respuesta a la detección de la pérdida de tracción, reducir una consigna de par de torsión de generador para incrementar la velocidad de rotación del generador, e
35
- incrementar la tracción del acoplamiento deslizante en respuesta al incremento en la velocidad de rotación del generador, en el que incrementar la tracción del acoplamiento deslizante facilita una aplicación del par de torsión de generador a un tren de potencia de la turbina eólica.
- 40
14. El sistema de la reivindicación 13, en el que el controlador es un controlador de convertidor, y en el que el controlador de convertidor tiene una frecuencia de muestreo de al menos una muestra cada 200 milisegundos, en el que la pluralidad de operaciones comprende además:
- 45
- recibir una indicación de al menos una velocidad de rotación desde un codificador acoplado operativamente a al menos uno de un eje rápido o un rotor de generador; y
en el que detectar la pérdida de tracción del acoplamiento deslizante comprende además:
- 50
- detectar la velocidad de rotación en un primer intervalo de muestreo,
detectar la velocidad de rotación en un intervalo de muestreo posterior, y
detectar un cambio de velocidad del generador entre los intervalos de muestreo determinando, con el controlador, una tasa de desaceleración del generador en base a las velocidades de rotación detectadas en los intervalos de muestreo, en el que la tasa de desaceleración es mayor que un umbral de tasa de cambio para la turbina eólica.
- 55
15. El sistema de la reivindicación 13 o 14, en el que detectar la pérdida de tracción del acoplamiento deslizante comprende además:
detectar una disminución en una inercia encontrada por el generador, en el que la inercia encontrada por el generador incluye al menos una inercia de rotor, en el que detectar la disminución en la inercia comprende:
- 60
- recibir una indicación de una velocidad de rotación del generador en un primer intervalo de muestreo y en un intervalo de muestreo posterior, siendo las indicaciones indicativas de un cambio en la velocidad de rotación,
determinar un par de torsión de entrehierro del generador en los intervalos de muestreo, y
determinar un cambio en una inercia encontrada por el generador en base, al menos en parte, al cambio en la velocidad de rotación y el par de torsión de entrehierro en los intervalos de muestreo.
- 65

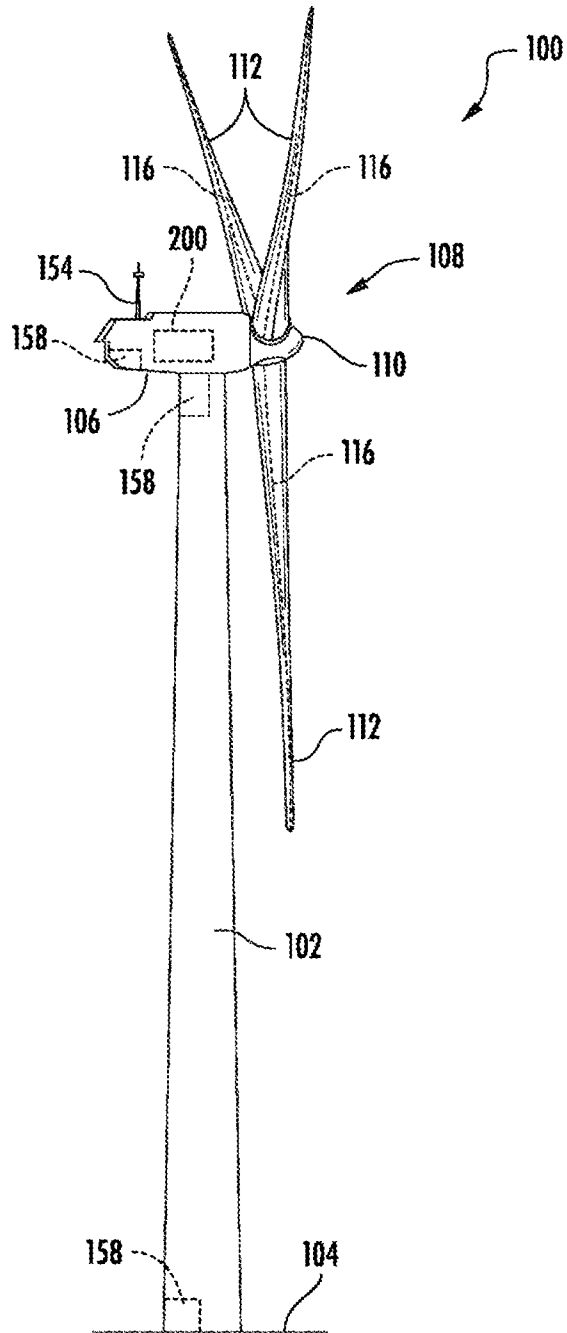
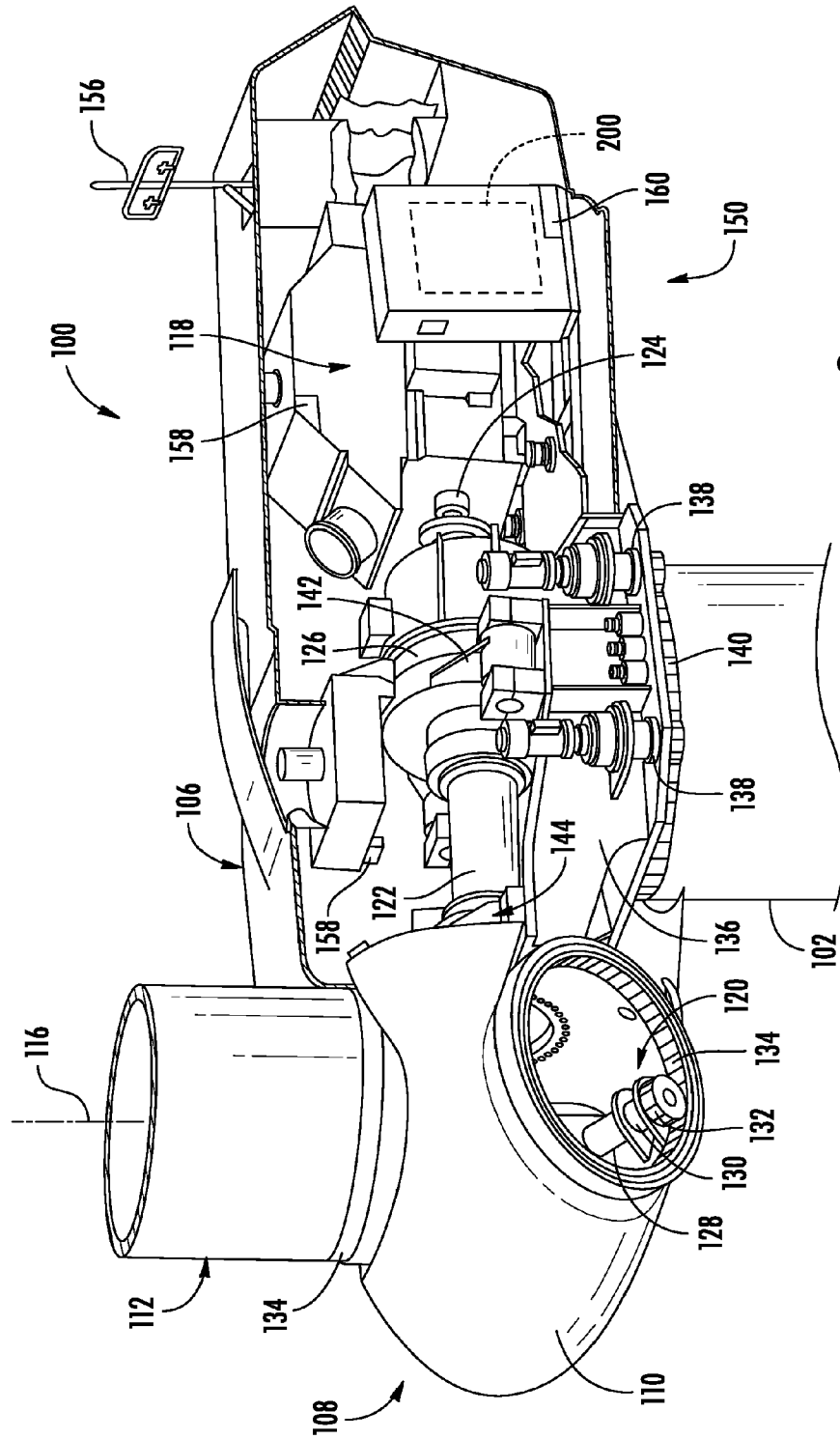


FIG. 1



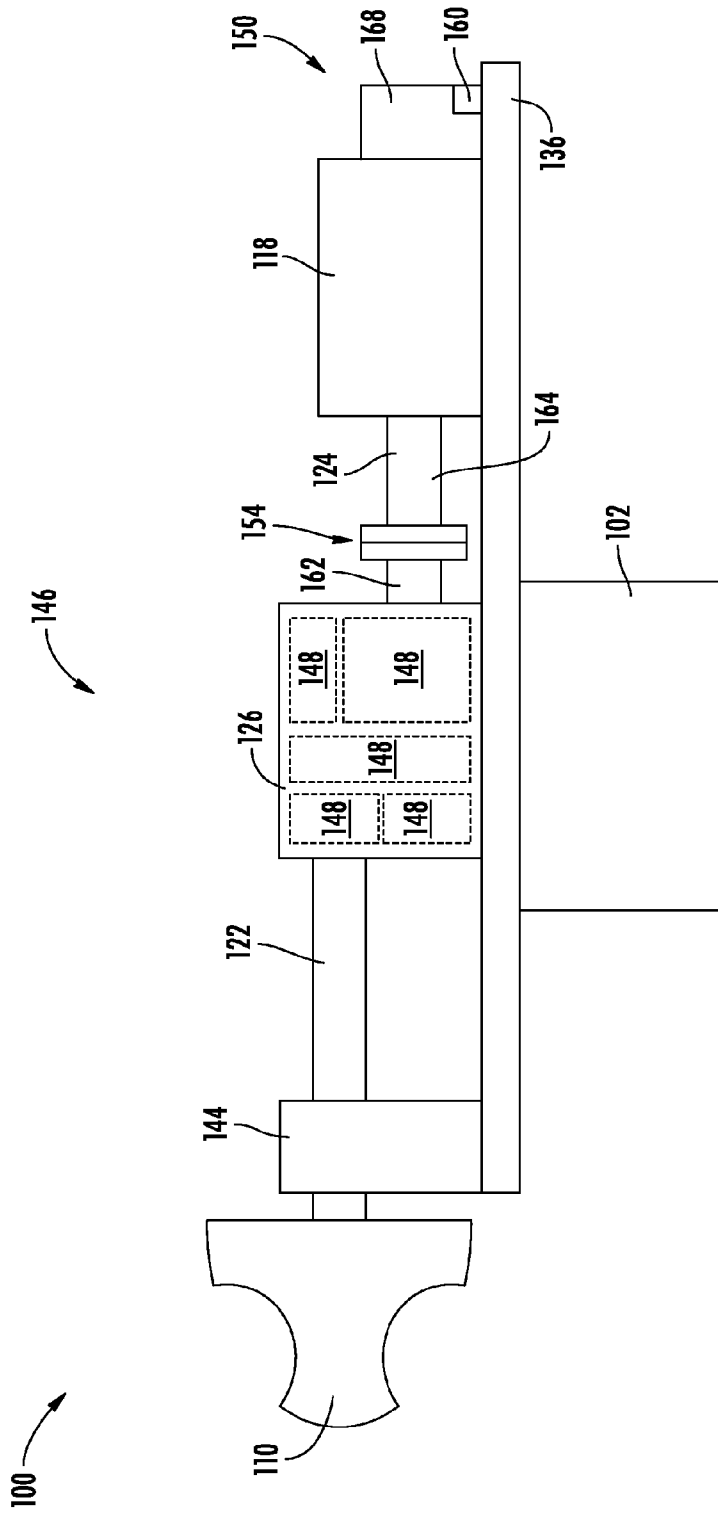


FIG. 3

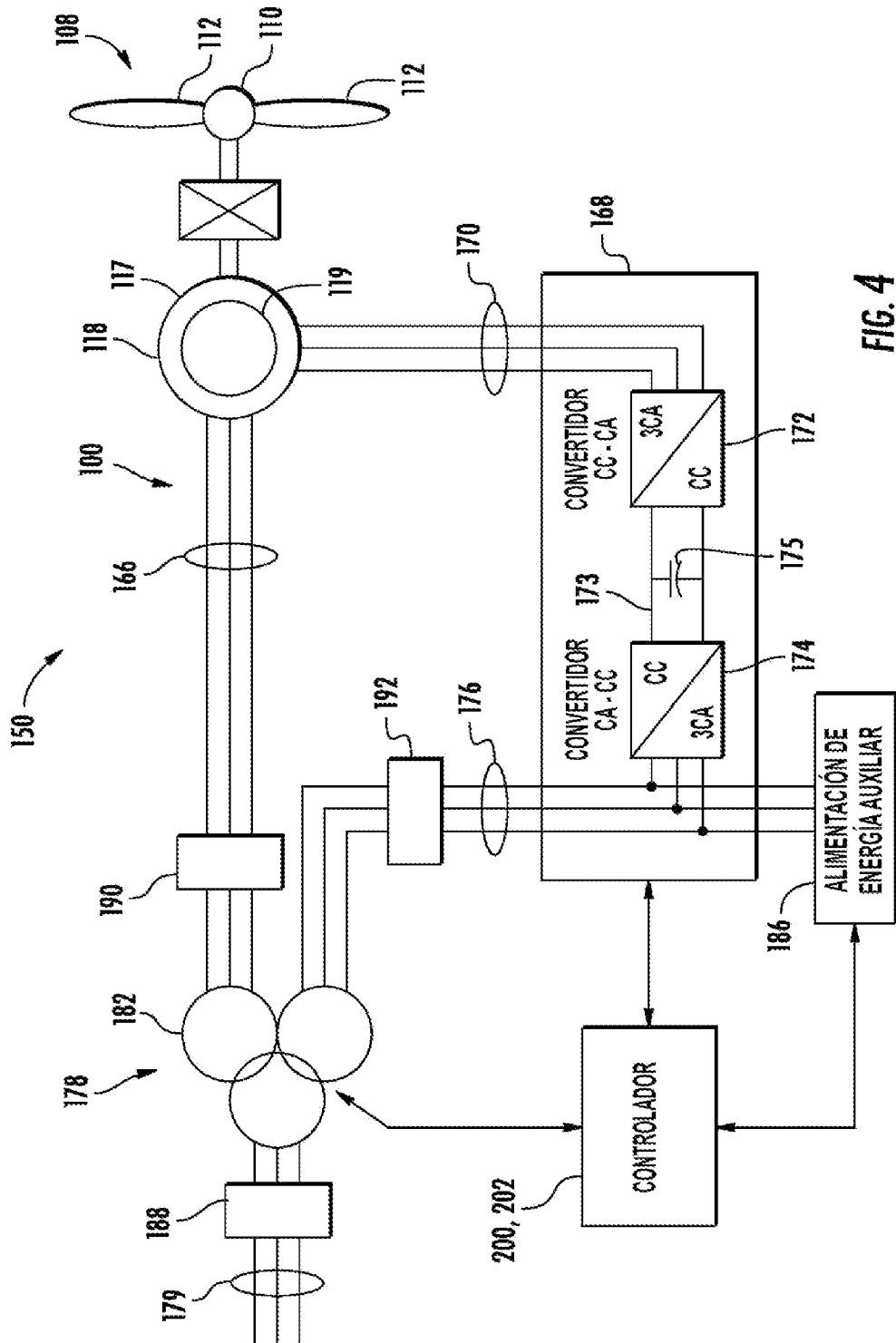


FIG. 4

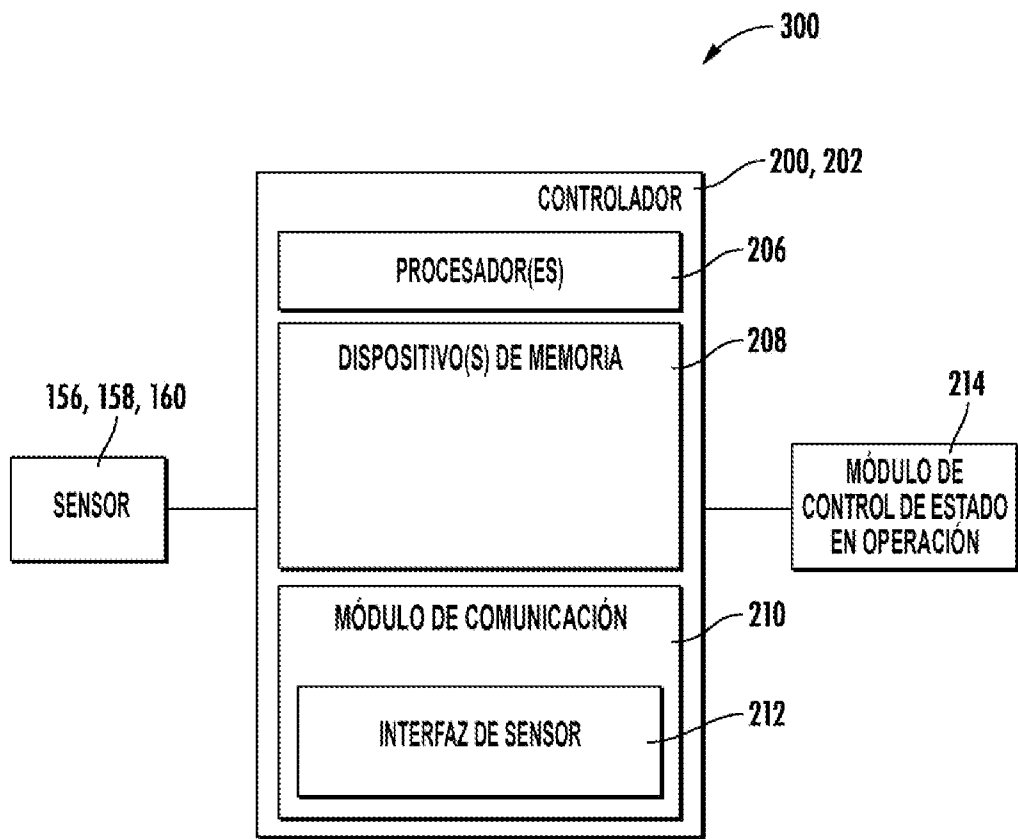


FIG. 5

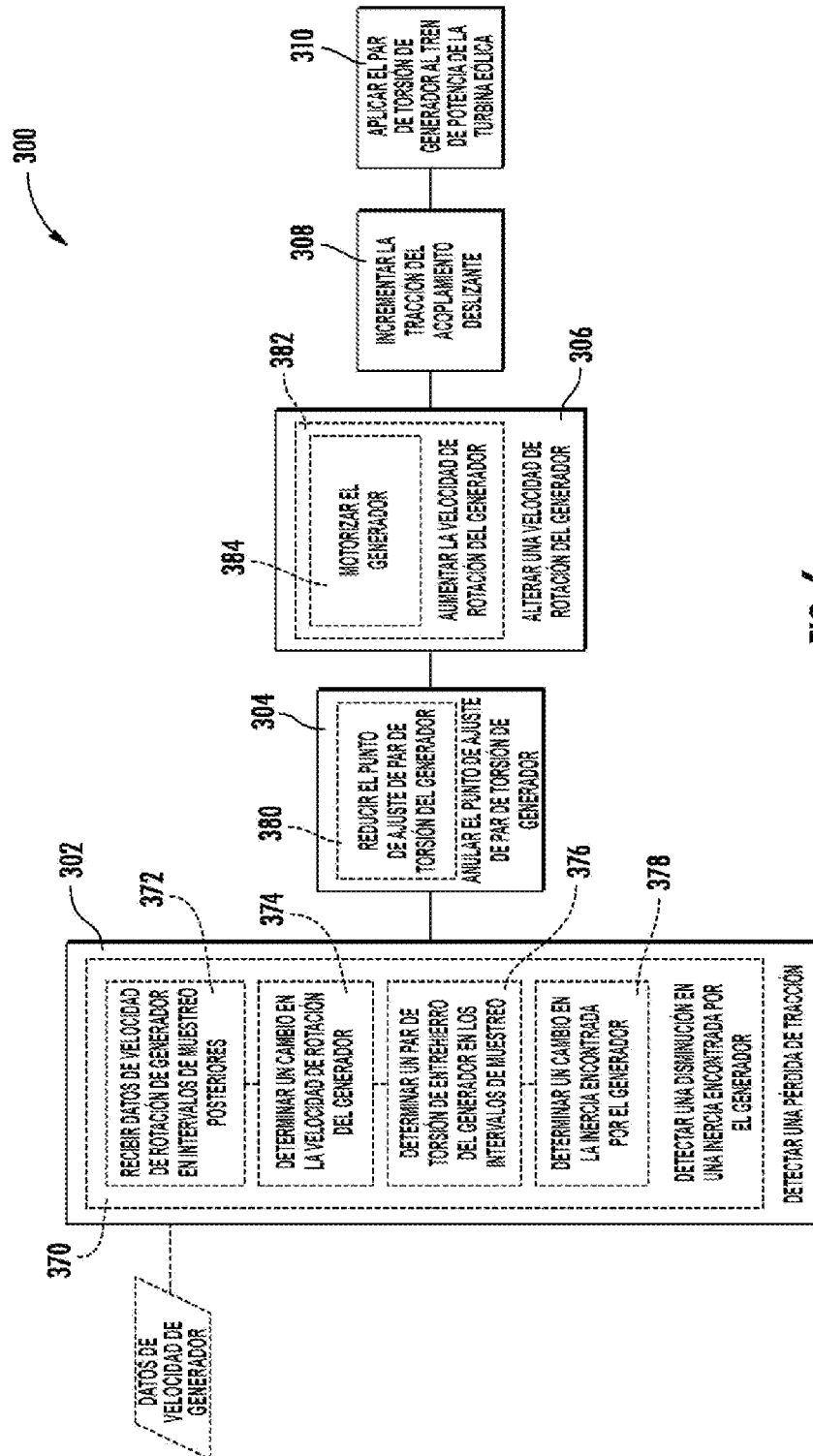


FIG. 6

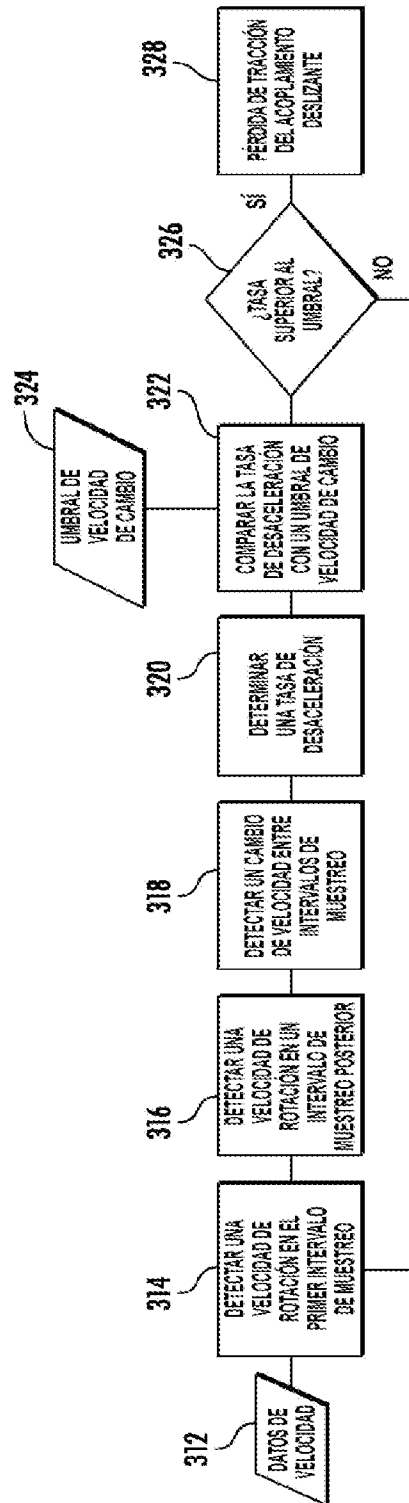


FIG. 7

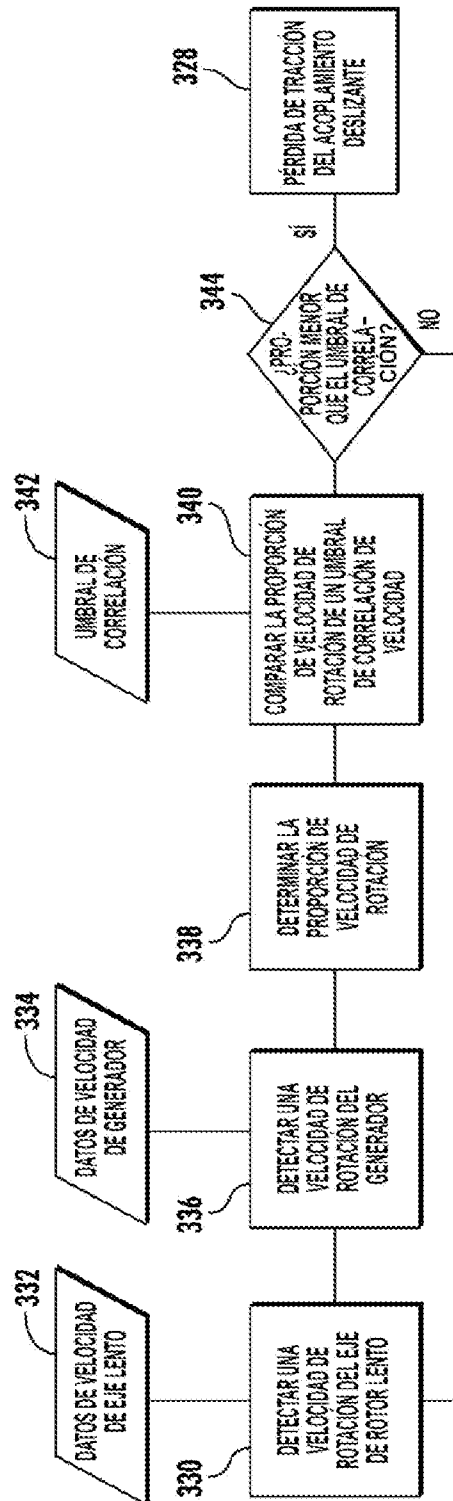


FIG. 8

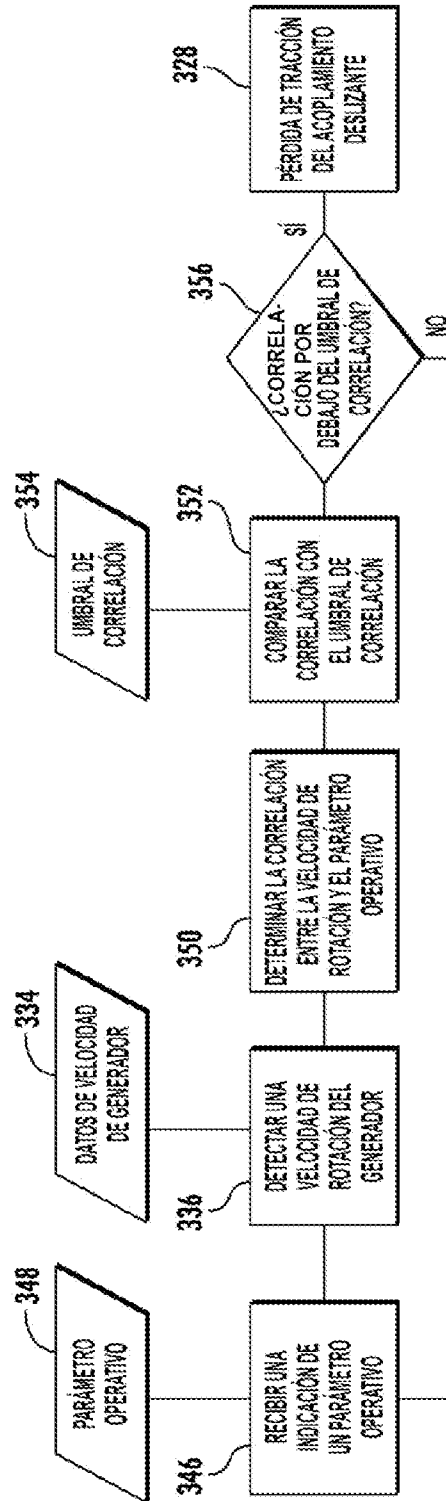


FIG. 9

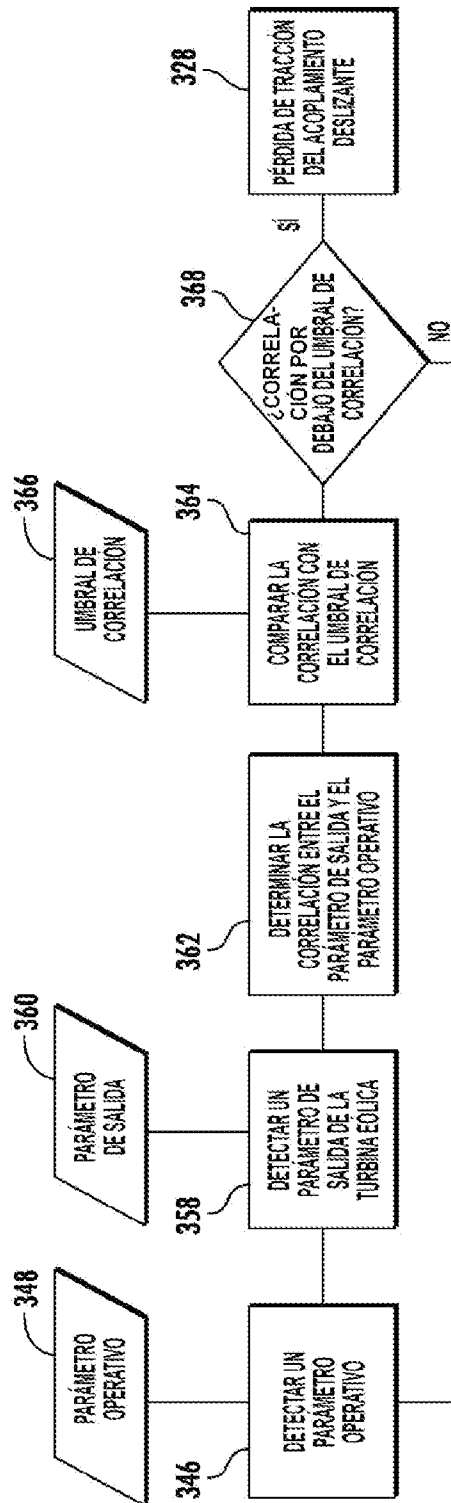


FIG. 10