

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 654**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2010** E 10179695 (1)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018** EP 2306003

54 Título: **Sistemas y procedimientos y para controlar una turbina eólica**

30 Prioridad:

30.09.2009 US 570988

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

24.06.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ZHENG, DANIAN y
HUANG, XIONGZHE**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 717 654 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

Sistemas y procedimientos y para controlar una turbina eólica

5 La materia objeto descrita en el presente documento se refiere en general al control de la operación de una turbina eólica, y más específicamente, para controlar la operación de una turbina eólica basada, al menos parcialmente, en mediciones contra el viento desde un dispositivo de medición contra el viento.

10 Los generadores de turbinas eólicas utilizan energía eólica para producir energía eléctrica. Los generadores de turbinas eólicas incluyen típicamente un rotor que tiene múltiples palas que transforman la energía eólica en un movimiento de rotación de un eje impulsor, que a su vez se utiliza para impulsar un generador eléctrico para producir energía eléctrica. Cada una de las múltiples palas puede inclinarse para aumentar o disminuir la velocidad de rotación del rotor. La inclinación de una pala se refiere a la rotación de la pala para cambiar el ángulo de ataque del viento sobre la pala. La inclinación hacia la pluma, o suavizado de la inclinación, se refiere a la rotación de la pala de manera que la superficie de la pala esté alineada a lo largo de una dirección de la velocidad del viento (es decir, reduciendo el ángulo de ataque). La inclinación de una pala hacia la pluma disminuye la captura de energía del viento mediante la pala. Típicamente, las palas se inclinan progresivamente hacia la pluma para contrarrestar el aumento de la velocidad del viento con el fin de mantener una velocidad del generador sustancialmente constante.

20 Cambios en las condiciones atmosféricas, por ejemplo, la velocidad del viento, la intensidad de una turbulencia del viento y la dirección del viento, puede influir significativamente en la potencia producida por los generadores de las turbinas eólicas. Una salida de potencia de un generador de turbina eólica aumenta con la velocidad del viento hasta que la velocidad del viento alcanza una velocidad de viento nominal para la turbina. En y por encima de la velocidad del viento nominal, el generador de turbina eólica opera a una potencia nominal. La potencia nominal es una potencia de salida a la que un generador de turbina eólica puede operar con un nivel de fatiga en los componentes de la turbina que está predeterminado para ser aceptable. A velocidades del viento superiores a una velocidad determinada, o a un nivel de turbulencia del viento que excede una magnitud predeterminada, típicamente denominados "límite de disparo" o "límite de punto de referencia del monitor," las turbinas eólicas pueden apagarse, o las cargas pueden reducirse regulando la inclinación de las palas o frenando el rotor, para proteger los componentes de la turbina eólica contra daños. Una potencia nominal estática y los límites de disparo estático se determinan típicamente durante una etapa de diseño de la turbina eólica y, por lo tanto, no dependen de las condiciones cambiantes del viento que puedan estar presentes durante la operación de la turbina eólica. Una alta intensidad de turbulencia del viento corresponde a condiciones del viento que cambian frecuentemente, que pueden incluir ráfagas de viento frecuentes y/o fuertes. Las ráfagas de viento son breves, aumentos súbitos en la velocidad del viento.

30 Los sensores ubicados en la turbina eólica reaccionan a las condiciones del viento, ya que afectan a la turbina eólica. Por ejemplo, un sensor de velocidad del viento colocado en la turbina eólica medirá una ráfaga de viento sustancialmente al mismo tiempo que la ráfaga de viento golpea las palas del rotor. Los ajustes de operación de la turbina eólica están sujetos a un retraso de tiempo entre la medición de la ráfaga de viento y la inclinación real de las palas, y por lo tanto, los ajustes de operación de la turbina eólica se realizan típicamente una vez que la ráfaga de viento ha afectado la operación de la turbina eólica. Como resultado, la ráfaga de viento puede hacer que la velocidad del rotor y/o la potencia de salida excedan el límite de disparo, antes de que se complete un ajuste de operación de la turbina eólica, haciendo que una turbina eólica se apague.

40 Las mediciones de las condiciones del viento contra el viento de la turbina eólica pueden utilizarse por un controlador del sistema de la turbina eólica para determinar los comandos de operación de la turbina eólica. Un cambio en la velocidad del viento puede medirse contra el viento desde la turbina eólica, y la inclinación de las palas se puede ajustar para compensar el cambio en la velocidad del viento una vez que el viento llega a la turbina eólica. Sin embargo, el rendimiento de la turbina eólica puede reducirse en tiempos de alta turbulencia del viento debido a las oscilaciones en la inclinación de la pala causadas por los rápidos ajustes de los componentes. Además, un equilibrio entre un par en el rotor creado por la interacción de las palas del rotor y el viento y un par generador facilita la operación estable de la turbina eólica. Los ajustes de la inclinación de la pala pueden causar un desequilibrio entre el par del rotor causado por el viento y el par del generador.

El documento WO 98/42980 desvela una turbina eólica con un sistema de medición de la velocidad del viento.

50 El documento EP 2025929 se refiere a un sistema y un procedimiento para la reducción de carga en una turbina eólica de eje horizontal que utiliza información contra el viento.

El documento EP 1770278 se refiere a un sistema y un procedimiento para el control de una turbina eólica basado en la velocidad del viento medida aguas arriba.

Varios aspectos y realizaciones de la presente invención se definen en las reivindicaciones adjuntas.

55 Se describirán ahora diversos aspectos y realizaciones de la presente invención en conexión con los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica ejemplar.

La figura 2 es una vista en perspectiva transversal parcial de una porción de la turbina eólica mostrada en la figura 1.

La figura 3 es un diagrama esquemático de una turbina eólica ejemplar.

La figura 4 es otra vista en perspectiva de la turbina eólica mostrada en la figura 1.

5 La figura 5 es un diagrama de control que ilustra un flujo de señales de control ejemplares durante la operación de una turbina eólica.

La figura 6 es un árbol de decisión que ilustra un procedimiento ejemplar ejecutado por un controlador de turbina eólica.

10 La figura 7 es un árbol de decisión que ilustra un procedimiento ejemplar ejecutado por un controlador de turbina eólica.

La figura 8 es un diagrama de flujo de un procedimiento ejemplar para controlar una turbina eólica.

15 Como se usa en el presente documento, el término "pala" pretende ser representativo de cualquier dispositivo que brinde fuerza reactiva cuando está en movimiento en relación con un fluido circundante. Como se usa en el presente documento, el término "turbina eólica" pretende ser representativo de cualquier dispositivo que genere energía de rotación a partir de energía eólica, y más específicamente, convierte la energía cinética del viento en energía mecánica. Como se usa en el presente documento, el término "generador eólico" pretende ser representativo de cualquier turbina eólica que genere energía eléctrica a partir de la energía de rotación generada por la energía eólica, y más específicamente, convierte la energía mecánica convertida de la energía cinética del viento a energía eléctrica. Como se usa en el presente documento, el término "molino de viento" pretende ser representativo de cualquier turbina eólica que utilice energía de rotación generada a partir de la energía eólica, y más específicamente energía mecánica convertida de energía cinética del viento, para un fin predeterminado que no sea generar energía eléctrica, tal como, pero sin limitarse a ello, bombeo de un fluido y/o molienda de una sustancia.

25 Varios efectos técnicos de los procedimientos, sistemas y medios legibles por ordenador descritos en el presente documento incluyen al menos uno de: (a) medir una condición de viento contra el viento desde un rotor utilizando un dispositivo de medición de la condición contra el viento; (b) proporcionar la condición del viento medida a un procesador; (c) determinar un parámetro de algoritmo de control, basado al menos parcialmente en la condición del viento medida, que controla al menos uno de un ancho de banda de respuesta de la turbina eólica, una velocidad de respuesta de la turbina eólica y un rango de error de operación del componente de la turbina eólica; (d) determinar un comando de operación de la turbina eólica basado al menos parcialmente en el parámetro del algoritmo de control; y (e) aplicar el comando de operación de la turbina eólica a la operación de la turbina eólica.

30 La figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina 10 eólica ejemplar. La figura 2 es una vista en perspectiva transversal parcial de una porción de la turbina 10 eólica. La turbina 10 eólica descrita e ilustrada en el presente documento es un generador eólico para generar energía eléctrica a partir de energía eólica. Sin embargo, en algunas realizaciones, la turbina 10 eólica puede ser, además o alternativamente a un generador eólico, cualquier tipo de turbina eólica, tal como, pero sin limitarse a ello, un molino de viento (no mostrado). Además, la turbina 10 eólica descrita e ilustrada en el presente documento incluye una configuración de eje horizontal. Sin embargo, en algunas realizaciones, la turbina 10 eólica puede incluir, además o alternativamente a la configuración del eje horizontal, una configuración de eje vertical (no mostrada). La turbina 10 eólica se puede acoplar a una carga eléctrica (no mostrada), tal como, pero sin limitarse a ello, una red de alimentación (no mostrada), para recibir potencia eléctrica de la misma para accionar la operación de la turbina 10 eólica y/o sus componentes asociados y/o para suministrar potencia eléctrica generada por la turbina 10 eólica a los mismos. Aunque únicamente se muestra una turbina 10 eólica en la figura 1, en algunas realizaciones, una pluralidad de turbinas 10 eólicas pueden agruparse, a veces citadas como un "parque eólico."

35 La turbina 10 eólica incluye un cuerpo o góndola 12 y un rotor (generalmente designado por 14) acoplado al cuerpo 12 para rotación con respecto al cuerpo 12 alrededor de un eje 20 de rotación. En la realización ejemplar, el cuerpo 12 está montado en una torre 16. Sin embargo, en algunas realizaciones, además o alternativamente al cuerpo 12 montado en la torre, la turbina 10 eólica incluye un cuerpo 12 adyacente al suelo y/o a una superficie de agua. La torre 16 puede tener cualquier altura adecuada que permita que la turbina 10 eólica funcione como se describe en el presente documento. El rotor 14 incluye un buje 22 y una pluralidad de palas 24 (a veces denominadas "perfiles aerodinámicos") que se extienden hacia fuera desde el buje 22 para convertir la energía eólica en energía de rotación. Aunque en el presente documento se describe e ilustra que el rotor 14 tiene tres palas 24, el rotor 14 puede tener cualquier número adecuado de palas 24. Las palas 24 pueden tener cualquier longitud adecuada que permita que la turbina 10 eólica funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, en algunas realizaciones, una o más palas 24 del rotor miden aproximadamente medio metro de largo, aunque en algunas realizaciones, una o más palas 24 del rotor tienen una longitud de aproximadamente cincuenta metros. Otros ejemplos de longitudes de palas 24 incluyen diez metros o menos, unos veinte metros, unos treinta y siete metros, y unos cuarenta metros. Otros ejemplos incluyen palas de rotor de más de unos cincuenta metros de largo.

A pesar de cómo se ilustran las palas 24 en la figura 1, el rotor 14 puede tener palas 24 de cualquier forma, y puede tener palas 24 de cualquier tipo y/o configuración, si tal forma, tipo y/o configuración se describen y/o ilustran en el presente documento. Un ejemplo de otro tipo, forma, y/o configuración de las palas 24 del rotor es un rotor conducido (no mostrado) que tiene una turbina (no mostrada) contenida dentro de un conducto (no mostrado). Otro ejemplo de otro tipo, forma y/o configuración de las palas 24 es una turbina eólica Darrieus, a veces denominada como turbina "batidora de huevos". Otro ejemplo más de otro tipo, forma y/o configuración de las palas 24 es una turbina eólica Savonius. Incluso otro ejemplo de otro tipo, forma y/o configuración de las palas 24 es un molino de viento tradicional para bombear agua, tal como, pero sin limitarse a ello, rotores de cuatro palas que tienen obturadores de madera y/o velas de tejido. Además, la turbina 10 eólica puede, en algunas realizaciones, ser una turbina eólica en la que el rotor 14 se enfrenta generalmente contra el viento para aprovechar la energía eólica, y/o puede ser una turbina eólica en la que el rotor 14 generalmente se enfrenta a la dirección del viento para aprovechar la energía. Evidentemente, en cualquiera de las realizaciones, el rotor 14 puede no estar encarado exactamente a barlovento y/o a sotavento, pero puede estar encarado generalmente en cualquier ángulo (que puede ser variable) con respecto a una dirección del viento para explotar la energía del mismo.

Con referencia ahora a la figura 2, la turbina 10 eólica incluye un generador 26 eléctrico acoplado al rotor 14 para generar energía eléctrica a partir de la energía de rotación generada por el rotor 14. El generador 26 puede ser cualquier tipo adecuado de generador eléctrico, tal como, pero sin limitarse a ello, un generador de inducción de rotor devanado. El generador 26 incluye un estator (no mostrado) y un rotor (no mostrado). El rotor 14 incluye un árbol 28 de rotor acoplado al buje 22 del rotor para girar con el mismo. El generador 26 está acoplado al árbol 28 del rotor, de manera que la rotación del árbol 28 del rotor impulsa la rotación del rotor del generador y, por lo tanto, la operación del generador 26. En la realización ejemplar, un árbol 30 del generador está acoplado al rotor del generador y acoplado al árbol 28 del rotor, de manera que la rotación del árbol 28 del rotor impulsa la rotación del rotor del generador. En otras realizaciones, el rotor del generador está acoplado directamente al árbol 28 del rotor, a veces se lo denomina "turbina eólica de transmisión directa." En la realización ejemplar, el árbol 30 del generador está acoplado al árbol 28 del rotor a través de una caja 32 de engranajes, aunque en otras realizaciones, el árbol 30 del generador está acoplado directamente al árbol 28 del rotor.

El par del rotor 14 impulsa el rotor del generador para generar energía eléctrica de corriente alterna (CA) de frecuencia variable a partir de la rotación del rotor 14. El generador 26 tiene un par de espacio de aire entre el rotor del generador y el estator que se opone al par del rotor 14. Un convertidor 34 de frecuencia está acoplado al generador 26 para convertir la frecuencia variable de CA en una frecuencia fija de CA para entregar a una carga eléctrica (no mostrada), tal como, pero no limitada a una red eléctrica (no mostrada), acoplada al generador 26. El convertidor 34 de frecuencia también controla el par de espacio de aire, lo que facilita el control de la potencia de salida del generador 26. El convertidor 34 de frecuencia puede estar ubicado en cualquier lugar dentro o remoto a la turbina 10 eólica. Por ejemplo, el convertidor 34 de frecuencia puede estar ubicado dentro de una base (no mostrada) de la torre 16.

En algunas realizaciones, la turbina 10 eólica puede incluir un limitador de velocidad del rotor, por ejemplo, pero no limitado a un freno 36 de disco. El freno 36 de disco frena la rotación del rotor 14 a, por ejemplo, una rotación lenta del rotor 14, frenar el rotor 14 contra un par eólico total, y/o reducir la generación de potencia eléctrica del generador eléctrico 26. Además, en algunas realizaciones, la turbina 10 eólica puede incluir un sistema 38 de guiñada para girar el cuerpo 12 alrededor de un eje 40 de rotación para cambiar una guiñada del rotor 14, y más específicamente, para cambiar una dirección enfrentada por el rotor 14 a, por ejemplo, ajustar un ángulo entre la dirección enfrentada por el rotor 14 y una dirección del viento.

En una realización ejemplar, la turbina 10 eólica incluye un sistema 42 de inclinación variable de la pala para controlar, incluyendo, pero sin limitarse a cambiar, un ángulo de inclinación de las palas 24 del rotor con respecto a la dirección del viento. El sistema 42 de inclinación puede estar acoplado a un controlador 44 del sistema para su control. El sistema 42 de inclinación está acoplado al buje 22 y las palas 24, e incluye actuadores de inclinación para cambiar el ángulo de inclinación de las palas 24 girando las palas 24 con respecto al buje 22. Los actuadores de inclinación pueden incluir cualquier estructura adecuada, configuración, disposición, medios, y/o componentes, ya sea descrito y/o ilustrado en el presente documento, tal como, pero sin limitarse a ello, motores eléctricos, cilindros hidráulicos, muelles, y/o servomecanismos. Además, los actuadores de inclinación pueden ser accionados por cualquier medio adecuado, ya sea descrito y/o ilustrado en el presente documento, tal como, pero sin limitarse a ello, fluido hidráulico, potencia eléctrica, potencia electroquímica, y/o potencia mecánica, tal como, pero sin limitarse a ello, fuerza elástica.

La figura 3 es un diagrama de bloques de una realización ejemplar de una turbina 10 eólica. En la realización ejemplar, la turbina 10 eólica incluye uno o más controladores 44 del sistema acoplados a algunos o todos los componentes de la turbina 10 eólica para controlar generalmente la operación de la turbina 10 eólica y/o controlar la operación de algunos o todos sus componentes, independientemente de si dichos componentes se describen y/o se ilustran en el presente documento. Por ejemplo, en la realización ejemplar, el controlador 44 del sistema está acoplado al sistema 42 de inclinación de pala variable para controlar la inclinación de las palas 24. Además, el controlador 44 del sistema está acoplado y configurado para controlar, el convertidor 34 de frecuencia. En la realización ejemplar, el controlador 44 del sistema está montado dentro del cuerpo 12 (que se muestra en la figura 2). Sin embargo, de manera adicional o de manera alternativa, uno o más controladores 44 del sistema pueden estar

alejados del cuerpo 12 y/o de otros componentes de la turbina 10 eólica. El controlador 44 del sistema se puede utilizar para, pero sin limitarse a, monitorización y control general del sistema incluyendo, por ejemplo, regulación de la inclinación y de la velocidad, aplicación de frenos al árbol de alta velocidad y orientación, aplicación de motor de guiñada y bombeo, y/o monitorización de fallos. Pueden usarse arquitecturas de control distribuidas o centralizadas alternativas en algunas realizaciones.

En una realización ejemplar, la turbina 10 eólica incluye una pluralidad de sensores, por ejemplo, los sensores 50, 52, 54, 56 y 58. Los sensores 50, 52, 54, 56 y 58 miden una variedad de parámetros, que incluyen, pero sin limitarse a ello, condiciones operativas y condiciones atmosféricas. Cada uno de los sensores 50, 52, 54, 56 y 58 puede ser un sensor individual o una pluralidad de sensores. Los sensores 50, 52, 54, 56 y 58 pueden ser cualquier sensor adecuado que tenga cualquier ubicación adecuada dentro o remota de la turbina 10 eólica que permita que la turbina 10 eólica funcione como se describe en el presente documento. En algunas realizaciones, los sensores 50, 52, 54, 58 y 58 están acoplados al controlador 44 del sistema para transmitir medidas al controlador 44 del sistema para su procesamiento.

En la realización ejemplar, la turbina 10 eólica también incluye un dispositivo 60 de medición de la condición del viento contra el viento. En la realización ejemplar, el dispositivo 60 de medición de la condición del viento contra el viento está configurado para medir al menos una condición de viento contra el viento de la turbina 10 eólica y proporcionar la medición al controlador 44 del sistema. El controlador 44 del sistema está configurado para controlar la velocidad del rotor y la salida de potencia eléctrica del generador 26 basándose al menos parcialmente en la medición del estado del viento contra el viento. La velocidad del rotor y la salida de potencia del generador 26 eléctrico pueden controlarse controlando la inclinación de las palas 24 utilizando el sistema 42 de inclinación variable de las palas. El control del par de espacio de aire del generador 26 mediante el uso del convertidor 34 de frecuencia también puede controlar simultáneamente la salida de potencia del generador 26 y una carga mecánica general al generador 26.

En algunas realizaciones, el controlador 44 del sistema incluye un bus 62 u otro dispositivo de comunicación para comunicar información. En al menos un ejemplo específico, el controlador 44 del sistema incluye un controlador derivado integral proporcional (PID). Uno o más procesador(es) 64 puede(n) estar acoplado(s) al bus 62 para procesar información, incluyendo información de los sensores 50, 52, 54, 56, 58 y/u otros sensores, así como información del dispositivo 60 de medición de la condición del viento contra el viento. El controlador 44 del sistema también puede incluir una o más memorias 66 de acceso aleatorio (RAM) y/u otro(s) dispositivo(s) 68 de almacenamiento. La(s) RAM(s) 66 y el(los) dispositivo(s) 68 de almacenamiento están acoplados al bus 62 para almacenar y transferir información e instrucciones para ser ejecutados por el(los) procesador(es) 64. La(s) RAM(s) 66 (y/o también el(los) dispositivo(s) 68 de almacenamiento, si están incluidos) puede(n) usarse también para almacenar variables temporales u otra información intermedia durante la ejecución de instrucciones por el(los) procesador(es) 64. El controlador 44 del sistema también puede incluir una o más memorias 70 de solo lectura (ROM) y/u otros dispositivos de almacenamiento estático acoplados al bus 62 para almacenar y proporcionar información estática (es decir, no cambiante) e instrucciones al procesador(es) 64.

El procesador 64 puede incluir cualquier sistema programable que incluya sistemas y microcontroladores, circuitos de conjunto de instrucciones reducido (RISC), circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), circuitos lógicos programables (PLC), y cualquier otro circuito o procesador capaz de ejecutar las funciones descritas en el presente documento. Los ejemplos anteriores son solo ejemplares y, por lo tanto, no pretenden limitar de ninguna manera la definición y/o el significado del término procesador.

El controlador 44 del sistema también puede incluir, o puede estar acoplado a, dispositivo(s) 72 de entrada/salida. El(los) dispositivo(s) 72 de entrada/salida puede(n) incluir cualquier dispositivo conocido en la técnica para proporcionar datos de entrada al controlador 44 del sistema y/o para proporcionar salidas, tal como, pero sin limitarse a ello, control de guiñada, control de inclinación, y/o salidas de par del generador. Se pueden proporcionar instrucciones a la memoria 66 desde el dispositivo 68 de almacenamiento, tal como, pero sin limitarse a ello, un disco magnético, un circuito integrado de memoria solo de lectura (ROM), un CD-ROM, y/o un DVD, a través de una conexión remota que puede ser tanto cableada como inalámbrica que proporciona acceso a uno o más medios electrónicamente accesibles, etc. En algunas realizaciones, pueden usarse circuitos cableados en lugar de o en combinación con instrucciones de software. Por ello, la ejecución de secuencias de funciones no está limitada a ninguna combinación específica de circuitería de hardware e instrucciones de software, ya sea descrito y/o ilustrado en el presente documento. El controlador 44 del sistema también puede incluir una interfaz 74 de sensor que permite que el controlador 44 del sistema se comunique con los sensores 50, 52, 54, 56, 58 y/u otro(s) sensor(es), así como para comunicarse con el dispositivo 60 de medición del estado del viento contra el viento. La interfaz 74 del sensor puede incluir uno o más convertidores de analógico a digital que convierten señales analógicas en señales digitales que pueden usarse por el (los) procesador(es) 64.

La figura 4 es otra vista en perspectiva de la turbina 10 eólica (mostrada en la figura 1), que ilustra además el dispositivo 60 de medición de la condición del viento contra el viento (mostrado en la figura 3). Como se ha descrito anteriormente, en caso de ráfagas de viento repentinas, la velocidad del viento puede aumentar en un intervalo de tiempo relativamente pequeño. En la realización ejemplar, los componentes de la turbina eólica se ajustan de forma preventiva antes de que una ráfaga golpee el rotor 14 (que se muestra en la figura 1) para compensar el retraso entre la medición de la ráfaga de viento y la respuesta de los componentes de la turbina eólica. Por ejemplo, para

compensar el retraso de tiempo entre la medición de la ráfaga de viento y la respuesta del sistema 42 de inclinación variable de las palas, las palas 24 se inclinan de manera preventiva antes de que la ráfaga golpee el rotor 14. En un ejemplo específico, el sistema 42 de inclinación variable de las palas puede cambiar la inclinación de la pala para que estén estabilizadas completamente en diez segundos. A una velocidad del viento dada, si el dispositivo 60 de medición de la condición del viento contra el viento mide una ráfaga de viento a una distancia de trescientos metros contra el viento desde el rotor 14, las palas pueden estar totalmente estabilizadas en el momento en que la ráfaga de viento alcance el rotor 14.

Las palas 24 de inclinación preventiva antes de la interacción con la ráfaga de viento facilitan la prevención de que la ráfaga de viento aplique una carga alta al rotor 14. Además, de acuerdo con la invención, la operación del convertidor 34 de frecuencia se ajusta de manera preventiva para equilibrar el par aplicado al rotor 14 por el viento y el par en el generador 26. Por ejemplo, tanto la inclinación de las palas 24 como el par en el generador 26 se ajustan al medir una condición de viento cambiada, medida a una distancia contra el viento desde el rotor 14.

Ajustar la inclinación de la pala en anticipación a la ráfaga de viento facilita el funcionamiento de la turbina 10 eólica a través de la ráfaga de viento. El ajuste de la inclinación de la pala también facilita el mantenimiento de una velocidad del rotor y una salida de potencia sustancialmente constantes desde la turbina 10 eólica durante tales ráfagas repentinas, o al menos un transitorio relativamente suave o controlado en la velocidad del rotor y la salida de potencia. Midiendo la condición del viento antes de que la condición del viento interactúe con el rotor 14, y eliminando la carga entrante por adelantado controlando la inclinación de la pala y el par del generador, facilita evitar que el generador 26 (que se muestra en la figura 3) alcance un límite de disparo cuando la ráfaga alcanza el rotor 14. Más específicamente, abandonar la carga entrante por adelantado facilita la prevención, por ejemplo, pero sin limitarse a ello, alcanzando un límite de exceso de velocidad de desplazamiento, un límite de disparo de potencia, y/o un límite de magnitud/carga de oscilación de la turbina sobre la ráfaga que llega al rotor 14. Los procedimientos y el sistema descritos en el presente documento facilitan la operación de la turbina 10 eólica a través de la ráfaga de viento, en lugar de tener que apagar la turbina 10 eólica.

Para implementar esta inclinación preventiva, por medio de un dispositivo 60 de medición de la condición del viento contra el viento, se detecta al menos una condición del viento contra el viento de las palas 24. La al menos una condición del viento puede incluir una velocidad del viento, una dirección del viento, y/o una intensidad de turbulencia del viento. Aunque se describe en el presente documento como una medición de la intensidad de la turbulencia del viento, el dispositivo 60 de medición del estado del viento contra el viento y/o el controlador 44 del sistema pueden configurarse para determinar la intensidad de la turbina eólica midiendo la velocidad del viento y calculando una variación en la velocidad del viento alrededor de una velocidad del viento medida promedio. En la realización ejemplar, el dispositivo 60 de medición de la condición del viento contra el viento es un dispositivo de detección de luz y de alcance, también conocido como LIDAR. Sin embargo, el dispositivo 60 de medición del estado del viento contra el viento también puede incluir cualquier dispositivo de medición adecuado que permita que el controlador 44 del sistema funcione como se describe en el presente documento.

Un LIDAR 60 es un dispositivo de medición configurado para escanear una región anular alrededor de la turbina 10 eólica y medir las condiciones de viento contra el viento a base de la reflexión y/o la retrodispersión de la luz transmitida por el LIDAR 60 desde un aerosol. El ángulo (θ) del cono y el rango (R) del LIDAR 60 pueden seleccionarse adecuadamente para proporcionar una precisión deseada de la medición, así como una sensibilidad aceptable. En la realización ilustrada, El LIDAR 60 está ubicado en el buje 22, sobre el cual se montan las palas 24. En ciertas realizaciones alternativas, el LIDAR 60 también puede estar ubicado alrededor de la base de la torre 16 de la turbina eólica.

En la realización ejemplar, el LIDAR 60 está configurado para medir una condición del viento contra el viento antes de al menos una porción específica, normalmente, las secciones más importantes de las palas 24 en términos de contribuciones de esas secciones al par aerodinámico en las palas. Estas secciones pueden incluir, por ejemplo, secciones cercanas a las puntas de las palas 24. Los puntos por delante de las palas 24 en las que el LIDAR 60 mide las condiciones del viento están representados por un plano 76.

La figura 5 es un diagrama 100 de control que ilustra un flujo de señales de control ejemplares durante la operación de una turbina eólica, por ejemplo, la operación de la turbina 10 eólica (mostrada en las figuras 1-4). Como se ha descrito anteriormente, la turbina 10 eólica incluye un rotor que tiene una pluralidad de palas de rotor, por ejemplo, el rotor 14 tiene palas 24 de rotor (mostradas en la figura 1), y un dispositivo de medición del estado del viento contra el viento, por ejemplo, el dispositivo 60 de medición del estado del viento contra el viento (mostrado en las figuras 3-4). Como se ha descrito anteriormente, en la realización ejemplar, El dispositivo 60 de medición de la condición del viento contra el viento es un dispositivo LIDAR configurado para generar y emitir una señal LIDAR que corresponde a al menos una de una velocidad 120 del viento medida contra el viento, una dirección 122 del viento medida contra el viento, y una intensidad 124 de la turbulencia del viento medida contra el viento.

En la realización ejemplar, la velocidad 120 del viento contra el viento, la dirección 122 del viento contra el viento y la intensidad de la turbulencia 124 del viento contra el viento se reciben en un controlador del sistema, por ejemplo, el controlador 44 del sistema (mostrado en la figura 3). El controlador 44 del sistema determina un parámetro 130 de algoritmo de control basado, al menos parcialmente, en la intensidad 124 de la turbulencia del viento medida contra el viento. El controlador 44 del sistema también puede determinar un punto 132 de referencia de la turbina eólica, por ejemplo, un punto de referencia de potencia y/o un punto de referencia de la velocidad del rotor, basado al

menos parcialmente en la velocidad 120 del viento contra el viento y en la dirección 122 del viento contra el viento. Unos sensores, por ejemplo, el sensor 54 (que se muestra en la figura 3) mide las posiciones reales y/o los ajustes de los componentes de la turbina eólica y el rendimiento real de los componentes de la turbina eólica, y las lecturas 134 del sensor de salida. Un parámetro 130 del algoritmo de control, el punto 132 de referencia de la turbina eólica y las lecturas 134 del sensor se ingresan en un algoritmo de control. El controlador 44 del sistema también está configurado para generar al menos uno de un comando 136 de operación de la turbina eólica basado en una salida del algoritmo de control y aplicar el comando 136 de operación de la turbina eólica a componentes y/o sistemas ajustables de la turbina 10 eólica, por ejemplo, el sistema 42 de inclinación variable de la pala y el convertidor 34 de frecuencia. El comando 136 de operación de la turbina eólica puede facilitar el establecimiento de un objetivo de control de inclinación de la pala y/o una curva de cambio de inclinación de la pala que controla la inclinación de las palas a medida que se ajustan hacia el objetivo de control de inclinación de la pala. El comando 136 de operación de la turbina eólica también puede facilitar el establecimiento de un objetivo de control de par del generador y/o una curva de cambio de par del generador que controla el par del generador a medida que se ajusta hacia el objetivo de control del par del generador.

En una realización ejemplar, el parámetro 130 del algoritmo de control es una ganancia o un conjunto de ganancias, por ejemplo, una ganancia proporcional y/o una ganancia de integración, que se aplica en el algoritmo de control. Además, el parámetro 130 del algoritmo de control puede incluir una matriz/modelo de controlador para su uso por un sistema de control que utiliza técnicas de control de espacio de estado y/o un sistema de control de entradas múltiples/salidas múltiples. En algunos ejemplos, el algoritmo de control se almacena en la memoria 66 (que se muestra en la figura 3) del controlador 44 del sistema. El controlador 44 del sistema utiliza el algoritmo de control para generar comandos de operación para componentes ajustables de la turbina 10 eólica. En la realización ejemplar, los comandos operativos dependen de las entradas al algoritmo de control, por ejemplo, un parámetro 130 del algoritmo de control, un punto 132 de referencia de la turbina eólica y lecturas 134 del sensor. Más específicamente, en la realización ejemplar, el algoritmo de control envía comandos de operación a, por ejemplo, el sistema 42 de inclinación variable de la pala y/o al convertidor 34 de frecuencia. En la realización ejemplar, los comandos operativos pueden incluir una señal de ancho de banda de respuesta y una señal de velocidad de respuesta. La señal de ancho de banda de respuesta y la señal de velocidad de respuesta controlan la velocidad a la que el componente ajustable alcanza una posición objetivo. La señal de ancho de banda de respuesta se envía desde el controlador 44 del sistema a, por ejemplo, el dispositivo 60 de medición del estado del viento contra el viento, y configurado para controlar una frecuencia en la que el dispositivo 60 mide las condiciones del viento contra el viento (por ejemplo, controlar una resolución del dispositivo 60, y por lo tanto, la capacidad del dispositivo 60 para diferenciar entre las condiciones del viento). Las señales de velocidad de respuesta se envían desde el controlador 44 del sistema a, por ejemplo, el sistema 42 de inclinación variable y/o el convertidor 34 de frecuencia, y configurado para controlar una velocidad a la que el sistema 42 y el convertidor 34 responden a las señales desde el controlador 44 del sistema. El ancho de banda de respuesta y la velocidad de respuesta son inversamente proporcionales al tiempo de respuesta. En otras palabras, el ancho de banda de respuesta y la velocidad de respuesta determinan un período de tiempo para que el componente ajustable se mueva desde una posición actual a la posición objetivo.

Los comandos de operación también incluyen una señal de rango de error, por ejemplo, una señal de rango de error de inclinación de la pala y una señal de rango de error de par del generador. La señal de rango de error controla la precisión de los ajustes de los componentes de la turbina eólica. Por ejemplo, el rango de error de inclinación de la pala es un rango que rodea un objetivo de control de inclinación de la pala y el rango de error de par del generador es un rango que rodea a un objetivo de control de par del generador. Mayor precisión (es decir, rangos de error más pequeños) facilita un mayor rendimiento de la turbina 10 eólica porque los componentes de la turbina eólica se colocan más cerca de una posición deseada. Sin embargo, los rangos de error más pequeños también pueden disminuir la estabilidad de la turbina eólica debido a los aumentos en las oscilaciones de los componentes de la turbina eólica hacia adelante y hacia atrás con excesos a través, y fuera de, del rango de error se limita alrededor del objetivo de control hasta que se establece en una posición dentro del rango de error.

La figura 6 es un árbol de decisión que ilustra un procedimiento ejemplar ejecutado por un controlador de turbina eólica, por ejemplo, el controlador 44 del sistema (mostrado en la figura 3). En la realización ejemplar, los parámetros del algoritmo de control que corresponden a la operación nominal de la turbina 10 eólica se almacenan, por ejemplo, en la memoria 66 (mostrada en la figura 3). En la realización ejemplar, el controlador 44 del sistema está programado para usar los parámetros del algoritmo de control nominal cuando la velocidad del viento y la intensidad de la turbulencia del viento están dentro de los rangos almacenados. En la realización ejemplar, el controlador 44 del sistema está programado para comparar la intensidad 124 de la turbulencia del viento contra el viento (que se muestra en la figura 5) con un primer nivel de intensidad de turbulencia de viento almacenada. Si la intensidad 124 de turbulencia del viento contra viento medida es mayor que el primer nivel de intensidad de turbulencia del viento almacenada, el controlador 44 del sistema está configurado para disminuir los parámetros del algoritmo de control nominal. Por ejemplo, el controlador 44 del sistema puede configurarse para disminuir la ganancia del algoritmo de control. Si la intensidad 124 de turbulencia del viento contra viento medida es menor que el primer nivel de intensidad de turbulencia del viento almacenado, el controlador 44 del sistema está configurado para comparar la intensidad 124 de turbulencia del viento contra el viento medida con un segundo nivel de intensidad de turbulencia del viento almacenado, en el que el segundo nivel de intensidad de turbulencia del viento es más bajo que el primer nivel de intensidad de turbulencia del viento. Si la intensidad de turbulencia del viento

contra viento medida es menor que el segundo nivel de intensidad de turbulencia del viento almacenado, el controlador 44 del sistema está configurado para aumentar 166 los parámetros del algoritmo de control nominal. Por ejemplo, el controlador 44 del sistema puede configurarse para aumentar la ganancia del algoritmo de control. Si la intensidad 124 de turbulencia del viento contra viento medida está entre el primer nivel de intensidad de turbulencia del viento almacenado y el segundo nivel de intensidad de turbulencia del viento almacenado, el controlador 44 del sistema está configurado para no cambiar 168 los parámetros del algoritmo de control.

La figura 7 es un árbol 170 de decisión que ilustra un procedimiento ejemplar ejecutado por un controlador de turbina eólica, por ejemplo, el controlador 44 del sistema (mostrado en la figura 3). En la realización ejemplar, se almacenan un punto de referencia de potencia nominal y un punto de referencia de velocidad del rotor que corresponden al funcionamiento nominal de la turbina eólica 10, por ejemplo, en la memoria 66 (mostrada en la figura 3). En la realización ejemplar, el controlador 44 del sistema está programado para comparar 172 una velocidad 120 del viento medida contra el viento y una velocidad del viento almacenada que corresponde al funcionamiento nominal de la turbina 10 eólica. En la realización ejemplar, si la velocidad 120 del viento medida es mayor que la velocidad del viento almacenada, el controlador 44 del sistema está configurado para disminuir 174 al menos uno de los puntos de referencia de potencia almacenados y el punto de referencia de velocidad del rotor almacenado. Si la velocidad 120 del viento medida es menor que la velocidad del viento almacenada, el controlador 44 del sistema está configurado para no cambiar 176 el punto de referencia de potencia almacenado o el punto de referencia de velocidad del rotor almacenado.

La figura 8 es un diagrama 200 de flujo de un procedimiento 210 ejemplar para controlar una turbina eólica, por ejemplo, la turbina 10 eólica (mostrada en las figuras 1-4). En una realización ejemplar, el procedimiento 210 es un procedimiento implementado por ordenador, por ejemplo, un procedimiento implementado por ordenador ejecutado por el procesador 64 (que se muestra en la figura 3). En otra realización ejemplar, un programa de ordenador realizado en un medio legible por ordenador incluye al menos un segmento de código, que cuando es ejecutado mediante, por ejemplo, el procesador 64, realiza el procedimiento 210.

Como se ha descrito anteriormente, la turbina 10 eólica incluye un rotor que tiene una pluralidad de palas de rotor, por ejemplo, el rotor 14 tiene palas 24 de rotor (mostradas en la figura 1), y un dispositivo de medición del estado del viento contra el viento, por ejemplo, el dispositivo 60 de medición del estado del viento contra el viento (mostrado en las figuras 3-4). En la realización ejemplar, el procedimiento 210 incluye medir 220 una condición del viento contra el viento desde el rotor 14 usando un dispositivo 60 de medición de la condición de viento contra el viento. El dispositivo 60 de medición de la condición del viento contra el viento mide 220 al menos una velocidad del viento contra el viento desde el rotor 14, una dirección del viento contra el viento desde el rotor 14 y una intensidad de turbulencia del viento contra el viento desde el rotor 14. El procedimiento 210 también incluye proporcionar 222 la condición del viento medida a un procesador, por ejemplo, el procesador 64.

En la realización ejemplar, el procedimiento 210 también incluye determinar 224 un parámetro de algoritmo de control, basado al menos parcialmente en la condición del viento medida, que controla al menos uno de un ancho de banda de respuesta, una velocidad de respuesta, un rango de error de control de un sistema y/o un componente de la turbina 10 eólica. Por ejemplo, el procesador 64 se puede configurar para determinar 224 el parámetro del algoritmo de control. Más específicamente, el procesador 64 puede configurarse para determinar 224 una ganancia del algoritmo de control, por ejemplo, una ganancia proporcional y/o una ganancia de integración, que controlan un ancho de banda de respuesta, una velocidad de respuesta y/o un rango de error de control, dependiendo de la intensidad de la turbulencia del viento contra el viento.

El ancho de banda de respuesta y la velocidad de respuesta de la turbina eólica controlan una velocidad a la que los componentes de la turbina 10 eólica alcanzan un ajuste del objetivo de control. En un ejemplo, lo más rápido que el sistema 42 de inclinación de pala variable (que se muestra en la figura 2) es capaz de cambiar una inclinación de las palas 24 en diez grados puede ser de diez segundos. Sin embargo, en la realización ejemplar, el sistema 42 de inclinación variable de la pala puede cambiar la inclinación de las palas 24 más lentamente. Aumentar el ancho de banda de respuesta y/o la velocidad de respuesta facilita el logro de las posiciones deseadas de los componentes de la turbina eólica con mayor rapidez. Tener los componentes de la turbina eólica en las posiciones deseadas más rápidamente, y por lo tanto un mayor porcentaje del tiempo, facilita un mayor rendimiento de la turbina eólica (es decir, mayor eficiencia y potencia de salida más estable). Sin embargo, aumentar el ancho de banda/velocidad de respuesta también disminuye la estabilidad de los componentes de la turbina eólica. Por ejemplo, aumentar la velocidad de respuesta del componente puede aumentar la oscilación de los componentes de la turbina eólica durante períodos de tiempo con alta intensidad de turbulencia del viento. La reducción del ancho de banda/velocidad de respuesta del componente durante períodos de tiempo con alta intensidad de turbulencia del viento puede reducir el rendimiento de la turbina eólica, pero aumenta la estabilidad de la turbina eólica al reducir los ajustes rápidos y frecuentes a los componentes de la turbina eólica.

Ejemplos de rangos de error de control de turbina eólica incluyen un rango de error de inclinación de las palas y un rango de error de par del generador. El rango de error de inclinación de las palas es un rango que rodea un objetivo de control de inclinación de las palas. En un ejemplo específico, el objetivo de control de la inclinación de las palas posiciona la pala a veinticuatro grados. El rango de error de inclinación de las palas puede ser de cuatro grados (por ejemplo, veinticuatro grados más o menos cuatro grados). El rango de error de par del generador es un rango que

rodea un objetivo de control de par del generador. En un ejemplo específico, el objetivo de control de par del generador es de aproximadamente cinco millones de metros newton (Nm). El rango de error de par del generador puede ser del dos por ciento (por ejemplo, cinco millones de Nm más o menos el dos por ciento). El aumento de los rangos de error de control facilita la disminución de la oscilación de los componentes de la turbina eólica dentro de un rango que rodea al objetivo de control hasta lograr una posición dentro del rango de error.

Se puede almacenar una ganancia de algoritmo de control, por ejemplo, en la memoria 66 (mostrada en la figura 3). La ganancia del algoritmo de control almacenado puede corresponder a la operación nominal de la turbina 10 eólica. En la realización ejemplar, determinar 224 la ganancia del algoritmo de control incluye reducir la ganancia del algoritmo de control almacenado cuando la intensidad de turbulencia del viento medida es mayor que la primera intensidad de turbulencia del viento almacenada, aumentar la ganancia del algoritmo de control almacenado cuando la intensidad de turbulencia del viento medida es menor que una segunda intensidad de turbulencia del viento almacenada, y mantener la ganancia del algoritmo de control almacenado cuando la intensidad de la turbulencia del viento medida es menor que la primera intensidad de turbulencia del viento almacenada y mayor que la segunda intensidad de la turbulencia del viento almacenada. La reducción de la ganancia del algoritmo de control aumenta al menos uno de los tiempos de respuesta de los componentes de la turbina eólica al comando de operación de la turbina eólica y el rango de error de inclinación de la pala y el rango de error de par del generador. Aumentar el tiempo de respuesta de operación de la turbina eólica y los rangos de error de inclinación de la pala y del generador facilitan reducir la oscilación de los componentes de la turbina eólica.

El aumento de la ganancia del algoritmo de control disminuye al menos uno de los componentes de la turbina eólica en el tiempo de respuesta al comando de operación de la turbina eólica y el rango de error de inclinación de las palas y el rango de error de par del generador. La disminución del tiempo de respuesta de los componentes de la turbina eólica y los rangos de error de inclinación de las palas y del generador facilitan el aumento del rendimiento de la turbina eólica.

En la realización ejemplar, el procedimiento 210 también incluye determinar 226 un comando de operación de turbina eólica basado al menos parcialmente en el parámetro del algoritmo de control y aplicar 228 el comando de operación de turbina eólica a la operación de la turbina eólica. Por ejemplo, el procesador 64 puede configurarse para determinar 226 un comando de inclinación de la pala que facilita establecer una inclinación de la pala dentro de un rango de error de inclinación de la pala de un objetivo de control de inclinación de la pala. El procesador 64 también puede configurarse para determinar 226 una orden de par de generador que facilita la configuración de un par del generador dentro de un rango de error de par de generador de un objetivo de control de par del generador.

En la realización ejemplar, el procedimiento 210 también incluye determinar 230 al menos un punto de referencia de la turbina eólica basado al menos parcialmente en la condición del viento medida. Por ejemplo, el procesador 64 puede configurarse para determinar 230 al menos uno de un punto de referencia de potencia y un punto de referencia de velocidad del rotor basado al menos parcialmente en una dirección del viento medida y/o una velocidad del viento medida. El punto de referencia de potencia y el punto de referencia de la velocidad del rotor pueden reducirse de los valores nominales almacenados cuando la velocidad del viento medida es mayor que la velocidad máxima del viento almacenada.

Los procedimientos y el sistema descritos anteriormente para operar una turbina eólica facilitan la operación rentable y altamente fiable de la turbina eólica. Los procedimientos y el sistema descritos en el presente documento facilitan el aumento de la producción de energía al ajustar de manera proactiva la operación de la turbina eólica en función de las condiciones del viento que se aproxima, mientras que también equilibra el par aplicado a la turbina eólica desde el viento y el par aplicado a la turbina eólica mediante el generador. Los procedimientos y el sistema descritos en el presente documento también facilitan el equilibrio del rendimiento de la turbina eólica con la estabilidad de la turbina eólica. Durante períodos de tiempo con baja intensidad de turbulencia del viento, un mayor rendimiento de la turbina eólica se logra aumentando la ganancia del algoritmo de control, lo que aumenta el ancho de banda/velocidad de respuesta de la turbina eólica y/o reduce el rango de error de control de la turbina eólica. Durante períodos de tiempo con alta intensidad de turbulencia del viento, una mayor estabilidad se logra disminuyendo la ganancia del algoritmo de control, lo que disminuye el ancho de banda/velocidad de respuesta de la turbina eólica y/o aumenta el rango de error de control de la turbina eólica. Más específicamente, el sistema y los procedimientos descritos anteriormente facilitan la operación de una turbina eólica con mayor rendimiento cuando las condiciones del viento, por ejemplo, una intensidad de turbulencia de viento, son propicias para una operación menos estable.

Realizaciones ejemplares de una turbina eólica se describen anteriormente en detalle. La turbina eólica y los conjuntos incluidos dentro de la turbina eólica no están limitados a las realizaciones específicas descritas en el presente documento, sino que, más bien, cada componente se puede utilizar de forma independiente y por separado de otros componentes descritos en el presente documento.

Esta descripción escrita usa ejemplos para desvelar la invención, incluyendo el modo preferente y, también, para permitir a cualquier experto en la materia poner en práctica la invención, incluyendo realizar y usar cualesquiera dispositivos o sistemas y llevar a cabo cualquier procedimiento incorporado. El ámbito patentable de la invención se define por las reivindicaciones y pueden incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la materia. Se pretende que tales otros ejemplos estén dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una turbina (10) eólica que comprende un sistema de control y un convertidor (34) de frecuencia, comprendiendo dicho sistema de control de la turbina eólica:
- 5 un dispositivo (60) de medición del estado del viento contra el viento colocado en o cerca de un cuerpo (12) de la turbina eólica, estando configurado dicho dispositivo de medición de la condición del viento aguas arriba para medir al menos una condición del viento contra el viento; y, un procesador (64) acoplado a dicho dispositivo de medición de la condición del viento contra el viento, estando dicho procesador configurado para:
- 10 recibir la medición de la condición del viento contra el viento; determinar (224) un parámetro (130) de algoritmo de control, basado al menos parcialmente en la medición del estado del viento contra el viento, que controla al menos uno de un ancho de banda de respuesta de la turbina eólica, una velocidad de respuesta de la turbina eólica y un rango de error de control de la turbina eólica; **caracterizado porque** dicho procesador (64) está configurado además para:
- 15 determinar (226) un comando de operación de la turbina (136) eólica basado al menos parcialmente en el parámetro del algoritmo de control necesario para equilibrar el par aplicado a un rotor (14) de la turbina (10) eólica por el viento y el par en un generador (26); y aplicar (228) el comando (136) de operación de la turbina eólica a la operación del convertidor de frecuencia de la turbina (34) eólica para ajustar de manera preventiva dicho par aplicado al rotor (14) por el viento y el par en el generador (26).
- 20 2. Un procedimiento para facilitar la operación de una turbina (10) eólica, comprendiendo la turbina eólica un controlador (44) del sistema, un dispositivo (60) de medición del estado del viento contra el viento y un convertidor (34) de frecuencia, comprendiendo dicho procedimiento:
- 25 configurar el dispositivo de medición de la condición del viento contra el viento para proporcionar al controlador del sistema al menos una medición de la condición del viento aguas arriba; y, configurar el controlador del sistema para:
- 30 recibir al menos una medición de la condición del viento aguas arriba; determinar (224) un parámetro (130) de algoritmo de control, basado al menos parcialmente en la medición del estado del viento aguas arriba, que controla al menos uno de un ancho de banda de respuesta de la turbina eólica, una velocidad de respuesta de la turbina eólica y un rango de error de control de la turbina eólica; **caracterizado porque** el controlador del sistema está configurado para:
- 35 determinar (226) un comando de operación de la turbina (136) eólica basado al menos parcialmente en el parámetro del algoritmo de control necesario para equilibrar el par aplicado a un rotor (14) de la turbina (10) eólica por el viento y el par en un generador (26); y aplicar (228) el comando (136) de operación de la turbina eólica a la operación del convertidor de frecuencia de la turbina (34) eólica para ajustar de manera preventiva dicho par aplicado al rotor (14) por el viento y el par en el generador (26).
3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, en el que configurar el dispositivo (60) de medición del estado del viento contra el viento comprende configurar el dispositivo de medición del estado del viento contra el viento para proporcionar al controlador (44) del sistema al menos uno de una velocidad (120) del viento contra el viento, una dirección (122) del viento contra el viento, y una intensidad (124) de la turbulencia del viento contra el viento.
4. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2 o la reivindicación 3, que comprende además configurar el controlador (44) del sistema para determinar al menos uno de un punto de referencia de potencia y un punto de referencia de velocidad del rotor basado al menos parcialmente en la velocidad (120) del viento contra el viento.
- 45 5. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, que comprende además configurar el controlador (44) del sistema para cambiar al menos una de la velocidad de respuesta de la turbina eólica y el ancho de banda de respuesta de la turbina eólica a base de al menos una medición de la condición del viento contra el viento.
- 50 6. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que configurar el controlador (44) del sistema para determinar (224) un parámetro (130) de algoritmo de control comprende configurar el controlador del sistema para determinar al menos una de una ganancia de algoritmo de control, un conjunto de ganancias de algoritmo de control, y un modelo/matriz del controlador.
- 55 7. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, en el que configurar el controlador (44) del sistema para determinar (226) un comando de operación de una turbina (136) eólica comprende al menos uno de:

determinar un comando de inclinación de pala que facilite la configuración de al menos una de una inclinación de pala y una curva de cambio de inclinación de pala dentro de un rango de error de un objetivo de control de inclinación de pala; y,

5 determinar un comando de par de generador que facilite la configuración de al menos uno de un par de generador y una curva de cambio de par de generador dentro de un rango de error de un objetivo de control de par de generador.

8. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7, que comprende además configurar el controlador (44) del sistema para cambiar al menos uno del rango de error de inclinación de la pala y el rango de error de par del generador a base de al menos una medición de la condición del viento contra el viento.

10

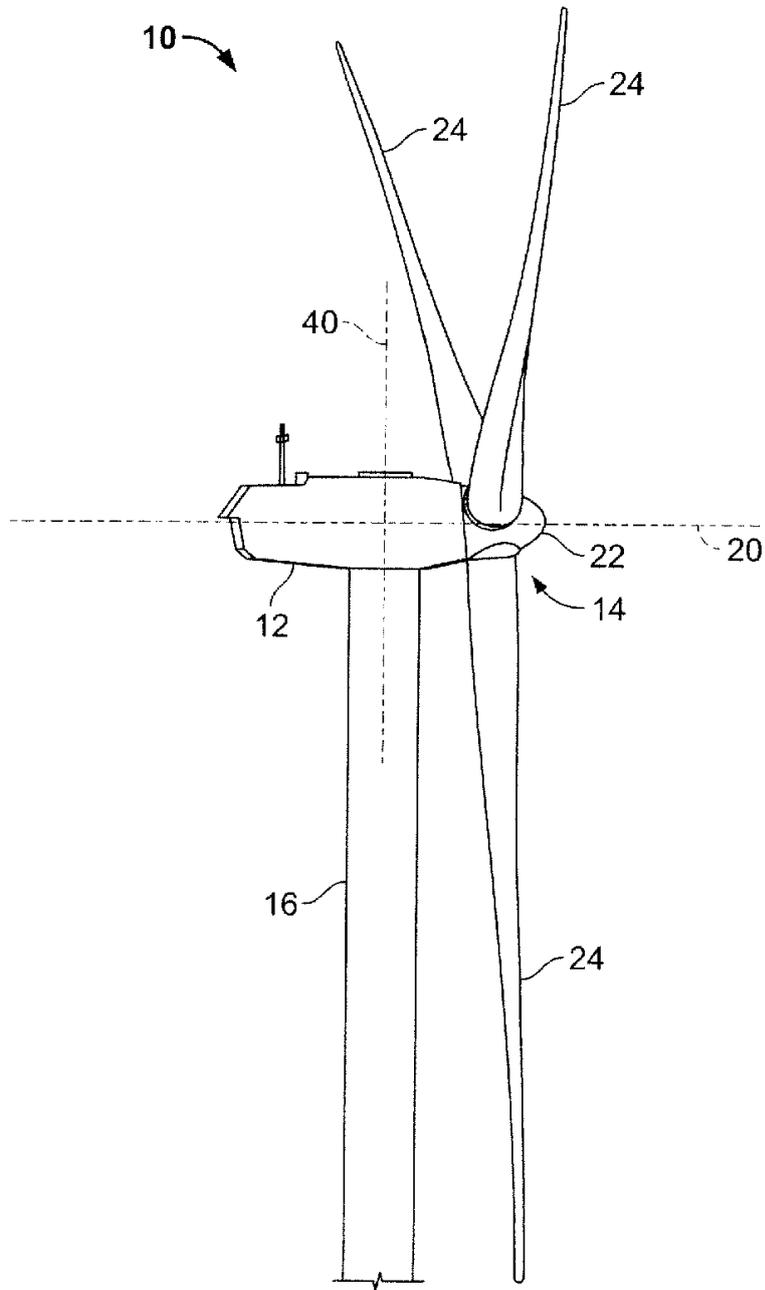


FIG. 1

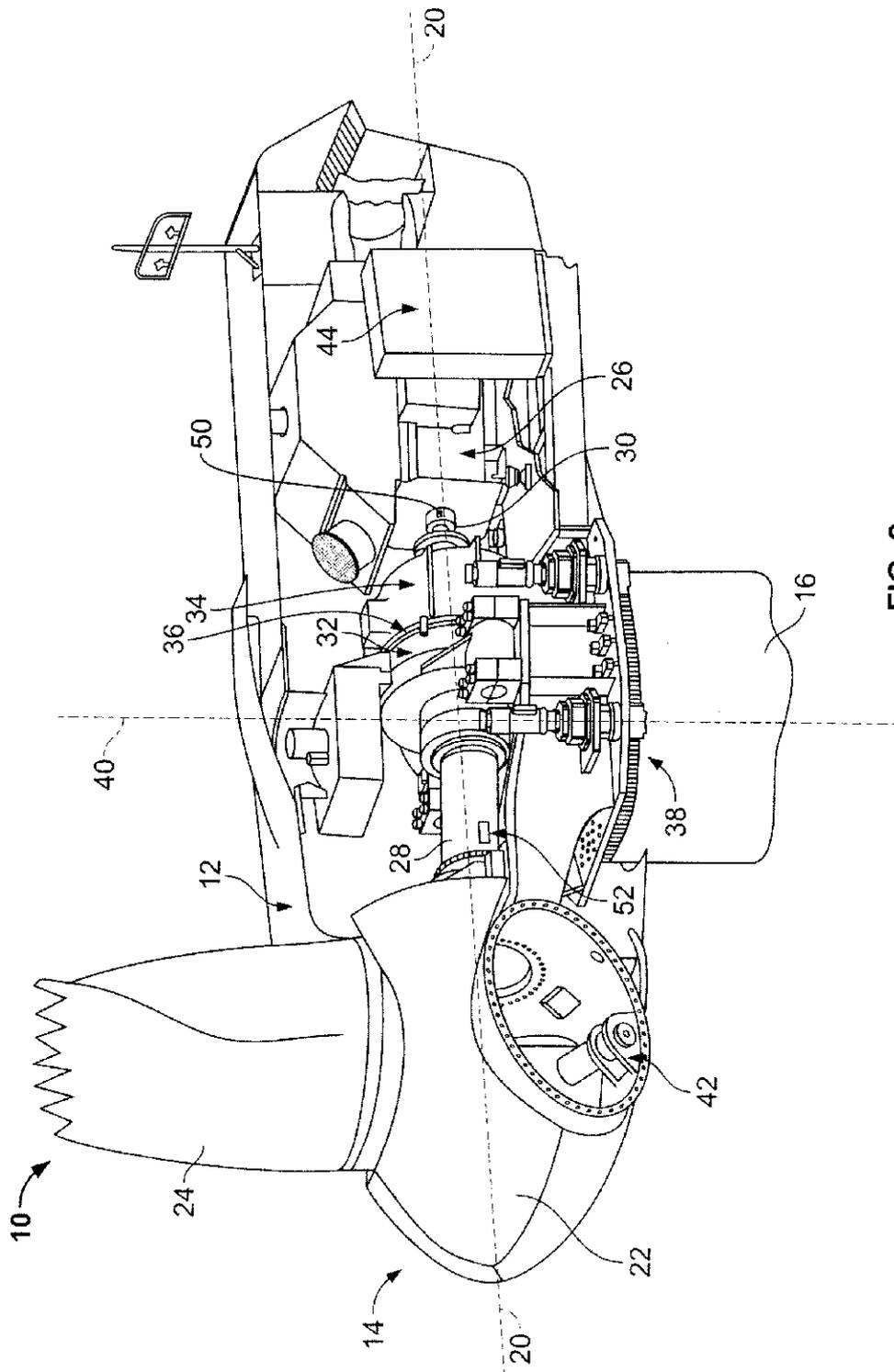


FIG. 2

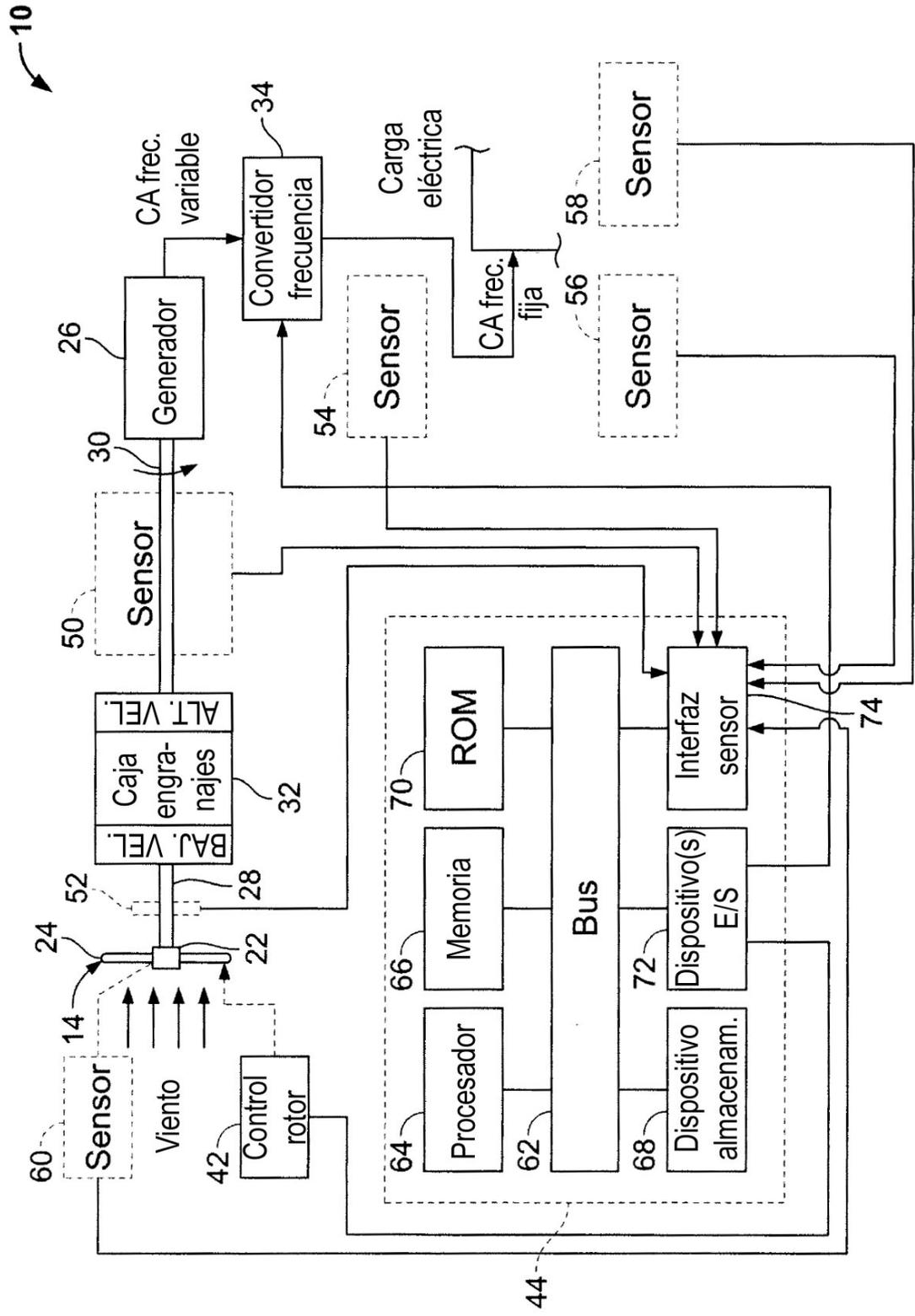


FIG. 3

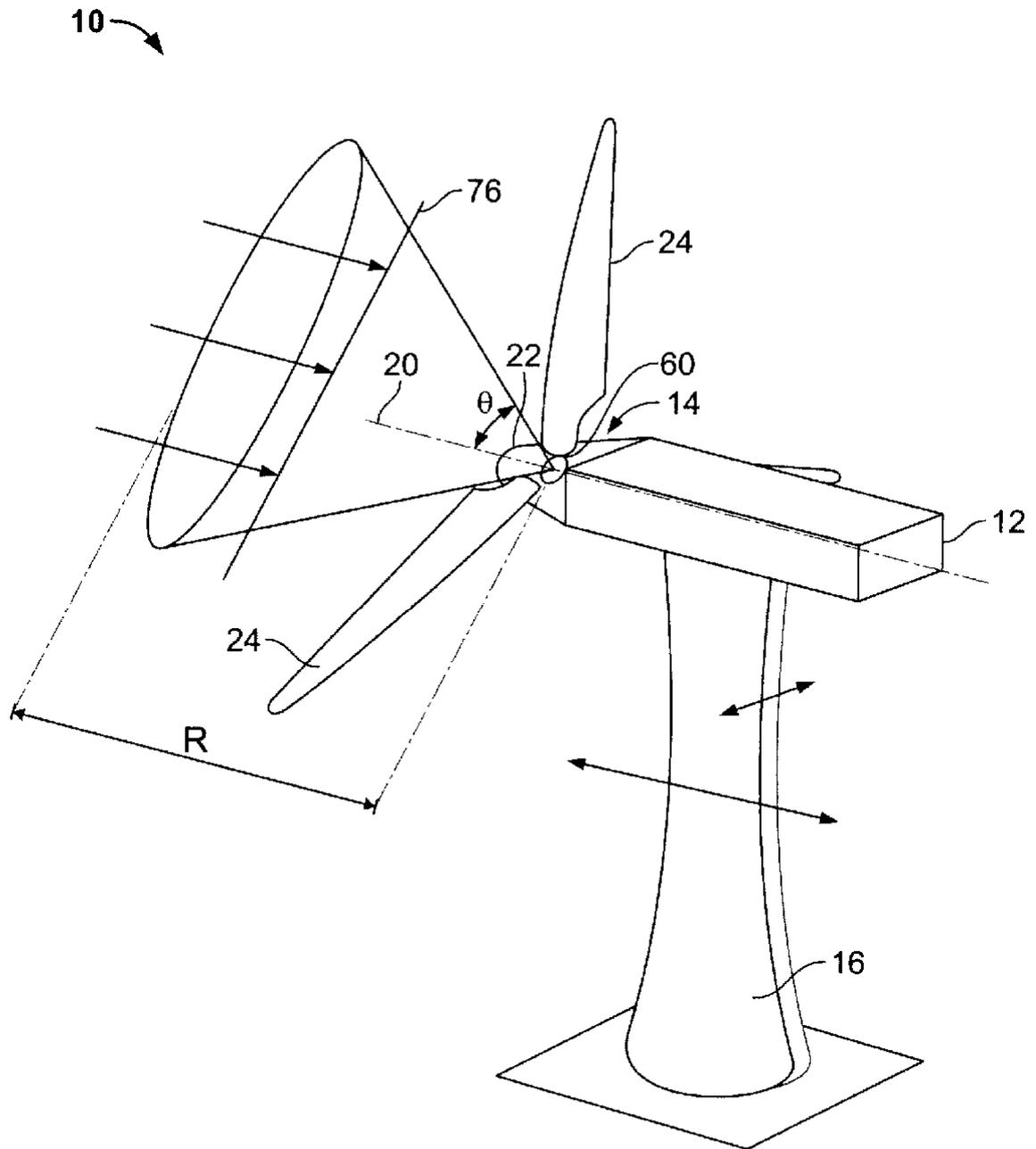


FIG. 4

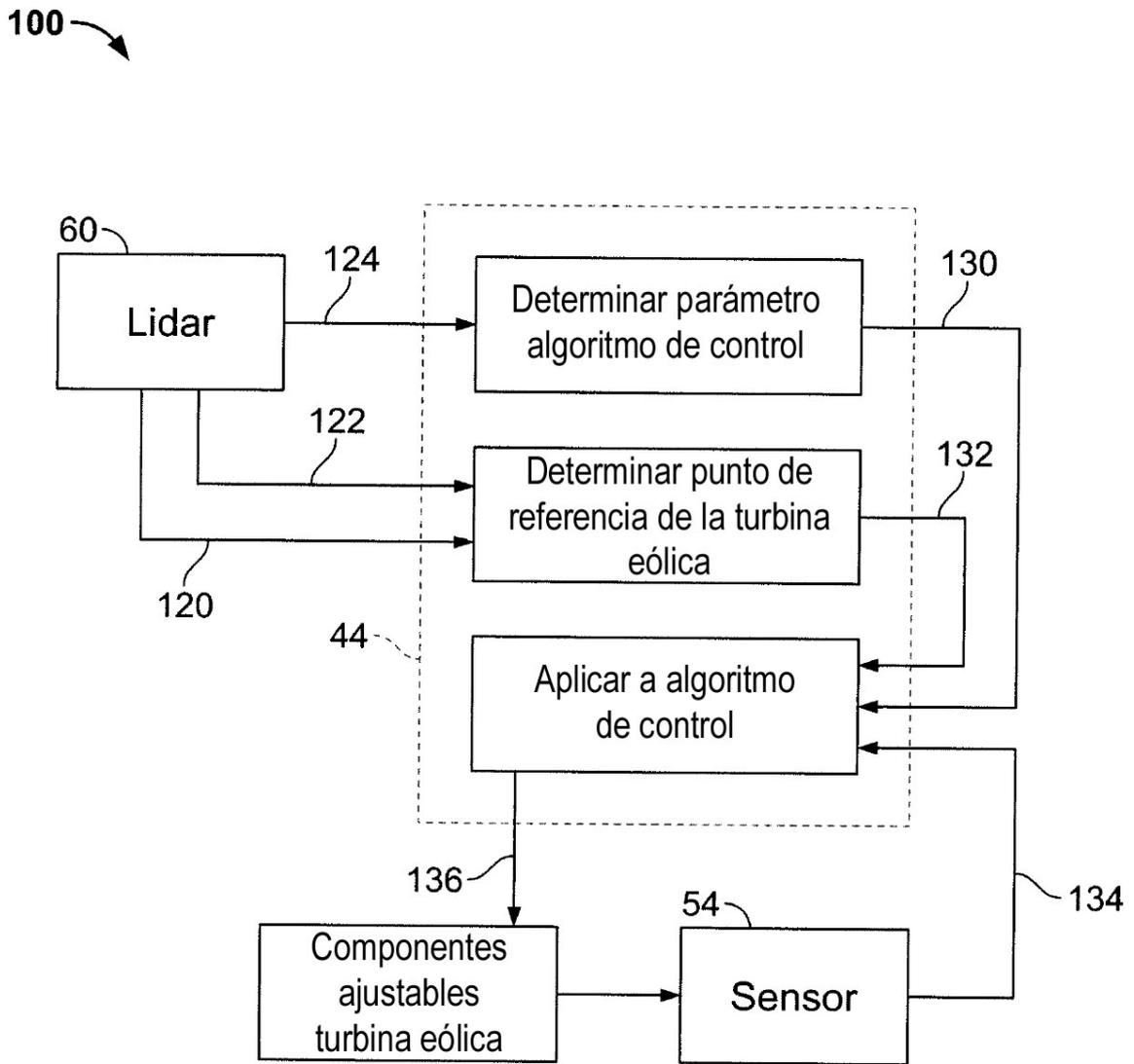


FIG. 5

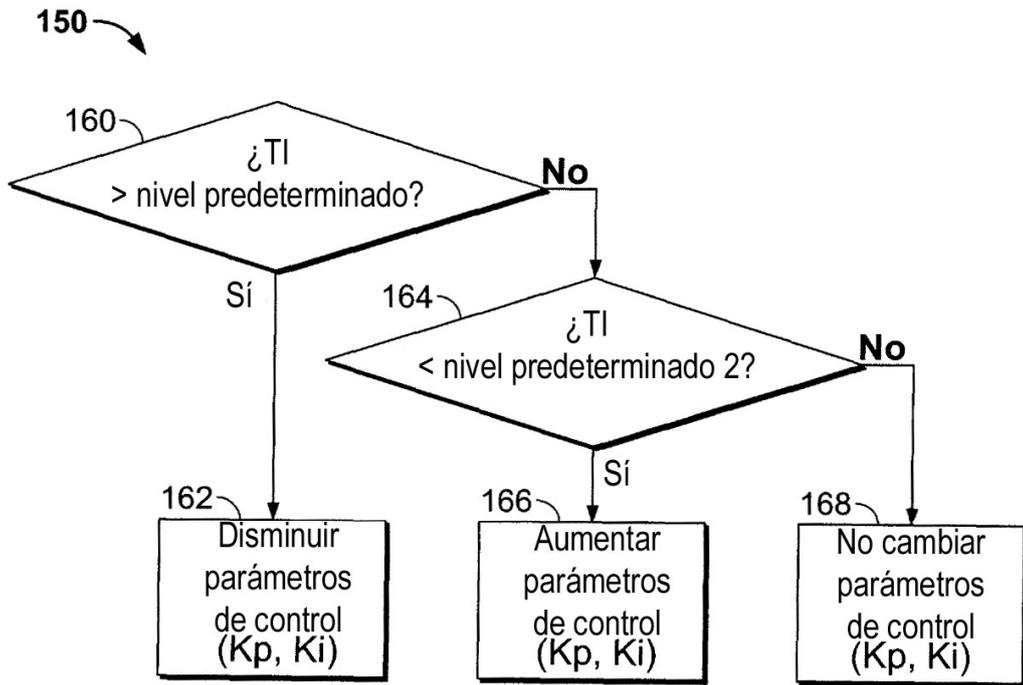


FIG. 6

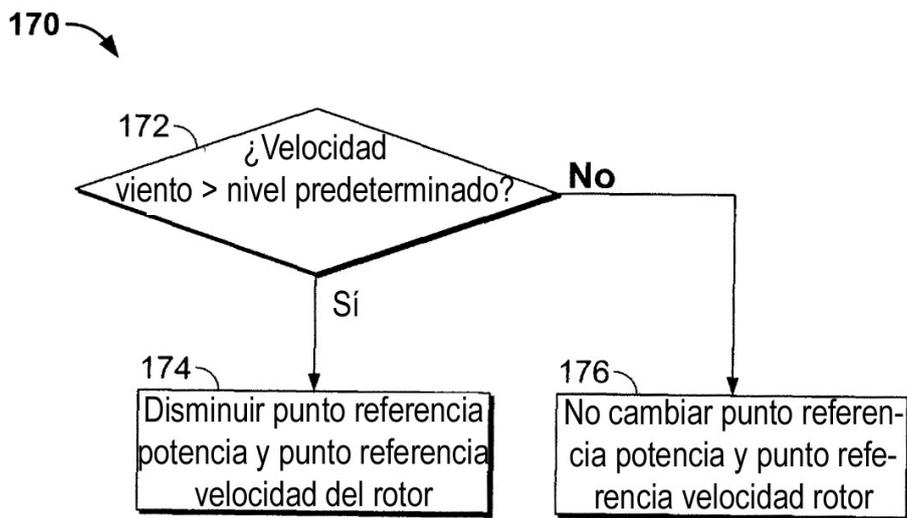


FIG. 7

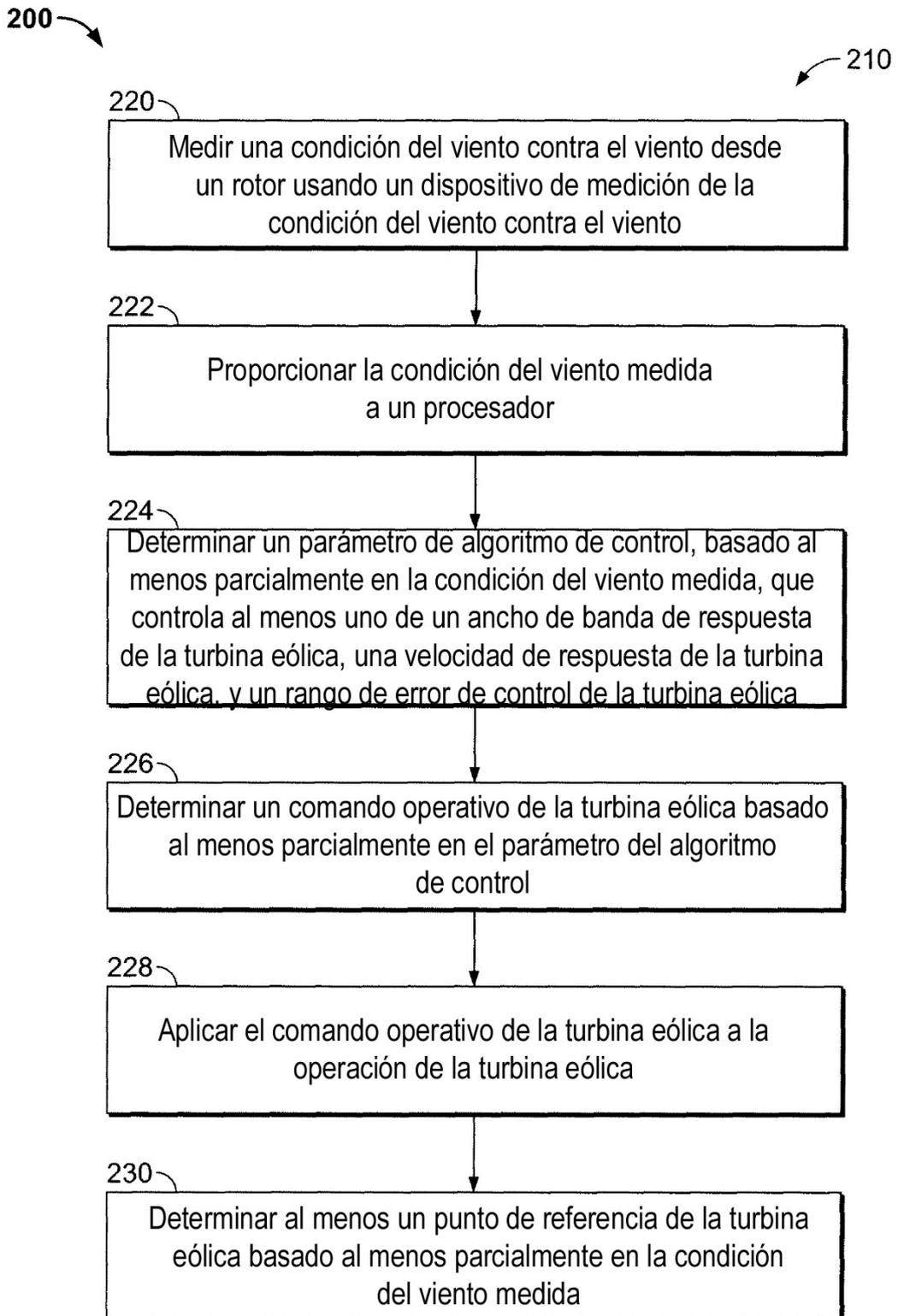


FIG. 8