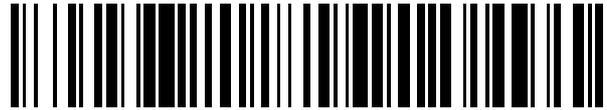


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 809 221**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.01.2014** **E 14150222 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2020** **EP 2754888**

54 Título: **Procedimiento y aparato para operar una turbina eólica**

30 Prioridad:

**09.01.2013 US 201313736976**

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

**03.03.2021**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**OING, HUBERT**

74 Agente/Representante:

**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

**ES 2 809 221 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**

Procedimiento y aparato para operar una turbina eólica

5 La materia que se describe en el presente documento se refiere en general a procedimientos y sistemas para operar una turbina eólica y, más en concreto, a procedimientos y sistemas para operar un sistema de control de una turbina eólica y a una turbina eólica que comprende dicho sistema de control.

10 Al menos algunas turbinas eólicas conocidas incluyen una torre y una góndola montada sobre la torre. Un rotor está montado en la góndola de forma rotatoria y está acoplado a un generador a través de un eje. Una pluralidad de palas se extienden desde el rotor. Las palas están orientadas de manera que el viento que pasa por las palas hace rotar el rotor y hace rotar el eje, accionando de este modo el generador para generar electricidad.

15 Las turbinas eólicas conocidas suelen estar diseñadas y/o ensambladas con unos límites de potencia nominal predefinidos. Para operar con seguridad dentro de dichos límites de potencia nominal, los componentes eléctricos y/o mecánicos pueden ser operados dentro de ciertas limitaciones de operación. Para evitar la fatiga y el desgaste prematuro de la turbina eólica y sus componentes, no se pueden superar sus valores de umbral para los componentes mecánicos y eléctricos. Véanse, por ejemplo, los documentos  
20 EP 2 108 825 y WO 2008/031434.

Por ejemplo, la operación de una turbina eólica con una alta velocidad de rotación, suele dar lugar a altas cargas que pueden reducir la vida útil de la turbina eólica y sus componentes, respectivamente. Normalmente, se establece un valor de umbral para la velocidad del rotor de una turbina eólica. En  
25 determinadas condiciones, tales como vientos fuertes en la zona de la turbina eólica o cuando se produce un fallo del sistema actuador o cuando la turbina eólica se encuentra en una situación no controlada, la velocidad del rotor puede llegar a superar este valor de umbral.

30 Al menos algunas turbinas eólicas conocidas están diseñadas para regular la velocidad del rotor de la turbina eólica dentro de un cierto rango de velocidades, con el fin de minimizar los casos de superación de los valores de umbral.

35 Al menos algunas turbinas eólicas conocidas están diseñadas para regular la velocidad del rotor dentro del valor de umbral reduciendo la velocidad del rotor o iniciando un paro de emergencia. Una disminución inmediata de la velocidad del rotor, por ejemplo mediante un frenado mecánico, puede dar lugar a un aumento particularmente significativo de la carga que actúa en componentes de la turbina eólica. Por lo general, dicho aumento significativo de la carga influye negativamente en la vida útil de la turbina. Además, las fuerzas alternas pueden excitar los modos de resonancia de la torre y provocar una vibración de resonancia de la torre. Dicha vibración de resonancia de la torre puede requerir el apagado o parada de la  
40 turbina eólica. Como resultado, se produce una pérdida de la capacidad de generación de energía por parte de la turbina eólica y puede ser necesario que el personal de servicio se desplace a la turbina eólica.

45 Por consiguiente, es conveniente proporcionar un procedimiento y un aparato capaz de operar una turbina eólica de manera que se eviten altas cargas en los componentes de la turbina eólica y, al mismo tiempo, se reduzca el número de paradas de emergencia de la turbina eólica.

Por lo tanto, se proporciona la presente invención, según se define en las reivindicaciones adjuntas.

50 Se desprenden diversos aspectos, ventajas y características de la presente invención a partir de las reivindicaciones dependientes, la descripción y los dibujos adjuntos.

La Figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica de ejemplo.

55 La Figura 2 es una vista en sección ampliada de una parte de la turbina eólica que se muestra en la Figura 1.

La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de ejemplo para operar la turbina eólica de acuerdo con formas de realización que se describen en el presente documento.

60 La Figura 4 es una representación gráfica de un ejemplo de evolución del viento durante un período de tiempo de 10 minutos.

65 La Figura 5 es una representación gráfica esquemática de la operación de la turbina eólica de acuerdo con formas de realización que se describen en el presente documento con un límite de velocidad variable.

La Figura 6 es otra representación gráfica esquemática de la operación de la turbina eólica según formas de realización que se describen en el presente documento con un límite de velocidad variable.

La Figura 7 es otra representación gráfica esquemática de la operación de la turbina eólica según formas de realización que se describen en el presente documento con un límite de velocidad variable.

5 A continuación se hará referencia en detalle a las diversas formas de realización, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en cada Figura. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación y no tiene por objeto ser una limitación. Por ejemplo, características ilustradas o descritas como parte de una forma de realización se pueden utilizar en o junto con otras formas de realización para obtener otras formas de realización adicionales. Se pretende que la presente divulgación incluya dichas modificaciones y variaciones.

10 Dentro de la siguiente descripción de los dibujos, los mismos números de referencia se refieren a los mismos componentes. En general, sólo se describen las diferencias con respecto a las formas de realización individuales.

15 Según se utiliza en el presente documento, el término "pala" pretende ser representativo de cualquier dispositivo que proporciona una fuerza reactiva cuando está en movimiento con respecto a un fluido circundante. Según se utiliza en el presente documento, el término "turbina eólica" tiene por objeto ser representativo de cualquier dispositivo que genera energía rotacional/cinética a partir de la energía del viento, y más en concreto, que convierte energía cinética del viento en energía mecánica. Según se utiliza en el presente documento, el término "generador eólico" tiene por objeto ser representativo de cualquier turbina eólica que genera energía eléctrica a partir de la energía de rotación generada a partir de energía eólica, y más en concreto, que convierte energía mecánica convertida a partir de energía cinética del viento en energía eléctrica.

20 Según se utilizan en el presente documento, los términos "límite de velocidad predeterminado", "primer límite de velocidad predeterminado" o "segundo límite de velocidad predeterminado" tienen por objeto ser representativos de un valor de umbral para la velocidad del rotor de una turbina eólica que está preestablecido. Normalmente, la velocidad del rotor de turbinas eólicas se regula de acuerdo con la potencia nominal de la turbina eólica. Para una operación eficiente y/o segura de la turbina eólica, la velocidad del rotor normalmente no debe superar el valor de umbral, es decir, el límite de velocidad predeterminado. Para evitar daños en los componentes eléctricos y/o mecánicos de la turbina eólica provocados por la superación del límite de velocidad predeterminado, se suele regular la velocidad del rotor teniendo en cuenta el valor de umbral, tal como el límite de velocidad predeterminado.

25 Según formas de realización que se describen en el presente documento, la turbina eólica es operada regulando la velocidad del rotor de la turbina eólica teniendo en cuenta un límite de velocidad variable. El ajuste de un límite de velocidad variable suele depender de la situación actual de la turbina eólica o de la situación actual en la turbina eólica. De este modo, se puede regular la velocidad del rotor dentro de un cierto rango, que puede ser más amplio cuando no se estima ningún estado de velocidad excesiva perjudicial y más estrecho cuando se estima un estado de velocidad excesiva perjudicial.

30 Según se utiliza en el presente documento, la expresión "en la turbina eólica" tiene por objeto ser representativa de una región en la turbina eólica o en sus proximidades. "En la turbina eólica" puede corresponder a componentes de la turbina eólica, por ejemplo, la torre de la turbina eólica, o a componentes que están acoplados a la turbina eólica, por ejemplo, un anemómetro. "En la proximidad de la turbina eólica" puede corresponder a una zona que rodea a la turbina eólica dentro un radio de hasta 100 m. Preferiblemente, el radio es de hasta 50 m, y aún más preferiblemente de hasta 10 m. Por ejemplo, la situación actual en la turbina eólica puede corresponder a las mediciones de un anemómetro que está instalado a una distancia de 10 m con respecto a la turbina eólica.

35 En general, las turbinas eólicas de ejemplo, según se conocen en la técnica, están adaptadas para regular la velocidad del rotor, es decir, la velocidad de rotación del rotor, teniendo en cuenta un primer límite de velocidad predeterminado. El primer límite de velocidad predeterminado de al menos algunas turbinas eólicas conocidas depende de factores tales como el umbral de velocidad de las partes rotatorias de la turbina eólica, el límite de velocidad del generador, o la aparición de ciertos fallos que pueden provocar problemas de excitación.

40 El límite de velocidad variable es diferente del primer límite de velocidad predeterminado, según se utiliza en el estado de la técnica, y es ajustado en base al resultado de una estimación. La estimación incluye la aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial de la turbina eólica y se basa en al menos uno de los valores reales determinados de una o múltiples variables de la turbina eólica. La estimación puede incluir un cálculo y/o una evaluación que utiliza al menos uno de entre los valores reales determinados de una o múltiples variables. El resultado de la estimación puede estar orientado a indicadores que permitan pronosticar la aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial. Dichos indicadores pueden ser un posible estado futuro de la turbina eólica, por ejemplo la salida de potencia, o una posible velocidad futura del rotor o una posible ocurrencia futura de un fallo, tal como un fallo de ajuste de paso de pala.

Un estado de velocidad excesiva perjudicial se produce, por ejemplo, cuando es inevitable un frenado de seguridad inmediato, por ejemplo a causa de una pérdida de red, o el frenado aerodinámico tendría un efecto decisivo a causa de altas cargas en la resistencia a la fatiga de la turbina eólica. Además, un estado de velocidad excesiva perjudicial aparece cuando la vibración de resonancia de la turbina eólica, en particular de la torre, supera un límite máximo permitido.

Una reacción temprana ante un inminente estado de velocidad excesiva perjudicial introduciendo un límite de velocidad variable impide que la turbina eólica, en particular sus componentes mecánicos y eléctricos, se expongan a grandes cargas. Al mismo tiempo, se pueden reducir los viajes innecesarios a la ubicación de la turbina eólica después de su parada, se minimizan los tiempos de parada y se reducen los tiempos de operación ineficiente de la turbina eólica. Por ejemplo, una parada de la turbina eólica no es del todo necesaria cuando no se estima ningún estado de velocidad excesiva perjudicial y, por consiguiente, no es inminente un daño crítico de componentes de la turbina, aunque la turbina eólica siga funcionando.

Según se utiliza en el presente documento, el término "variable" tiene por objeto ser representativo de una magnitud que varía a lo largo del tiempo y que está relacionada con la turbina eólica, un sistema conectado a la misma o en los alrededores de la turbina eólica.

Al menos una de las variables, denominada la primera variable, es indicativa de un estado de fallo de la turbina eólica. Por ejemplo, la primera variable puede ser un evento de pérdida de potencia eléctrica, que puede incluir una pérdida de la red eléctrica, un mal funcionamiento del sistema eléctrico de la turbina o un fallo del sistema de control de la turbina eólica. Estos ejemplos de la primera variable indican un estado de fallo de la turbina eólica cuando el generador experimenta una pérdida de carga. Alternativamente, la primera variable puede ser, una flexión de una o más palas del rotor, un desplazamiento de pala o un fallo de ajuste de paso de pala, en particular un estado de fallo de la modulación del ángulo de paso de pala de rotor asociada o un mal funcionamiento de un rodamiento de ajuste de paso de pala o un fallo de una o más partes del sistema de ajuste de paso de pala o del motor de control de ajuste de paso de pala o una interrupción de las señales procedentes del sistema de control. Estos ejemplos de primera variable pueden indicar un estado de fallo de la turbina eólica cuando la velocidad de rotación del rotor, en particular de las palas, aumenta de forma incontrolada y brusca, respectivamente.

Al menos una de las variables, denominada la segunda variable, es correlacionada con un estado de la turbina eólica o un estado del entorno. Por ejemplo, la segunda variable puede correlacionar con un estado del entorno tal como la velocidad y/o la dirección del viento en la turbina eólica. La segunda variable puede correlacionar con un estado de la turbina eólica tal como, pero sin limitarse a, la salida de potencia de la turbina, en particular la salida de potencia de un generador eléctrico que forma parte de la turbina eólica, la velocidad del rotor o la aceleración del rotor de la turbina. Estos ejemplos de la segunda variable indican un estado de la turbina eólica o un estado del entorno cuando su respectivo valor supera el valor máximo permitido. Se guarda una lista de los respectivos valores máximos permitidos en, por ejemplo, el sistema de control de la turbina eólica. Para el rendimiento de la estimación, según se describe en el presente documento, estos valores guardados se pueden comparar con los valores reales.

Según se utiliza en el presente documento, la expresión "valor real de una variable" tiene por objeto ser representativa de una magnitud que es determinada por el sistema de la turbina eólica o un sistema conectado, en particular por los componentes y/o un sistema de medición de la turbina eólica, o que es recuperada de un componente o sistema externo, por ejemplo un dispositivo de medición, tal como un sensor.

Por ejemplo, se puede determinar un valor real de la variable "velocidad del rotor" a partir de una medición de las revoluciones del rotor por minuto a través de un sensor. Como otro ejemplo, un valor real de la variable "aceleración del rotor" puede corresponder a una medición directa de la aceleración a través de un sensor acoplado con el rotor. Alternativamente, un valor real de la variable "aceleración del rotor" puede ser determinado por la velocidad de cambio en el tiempo de valores reales de la velocidad del rotor, que se puede inferir a partir de una serie temporal de valores de velocidad del rotor.

Por ejemplo, se puede determinar un valor real de la variable "evento de pérdida de potencia eléctrica" a partir de una medición de la salida de potencia de la turbina eólica o, según formas de realización de ejemplo, de una corriente o voltaje eléctrico de la turbina eólica. El valor real de la variable "evento de pérdida de potencia eléctrica" puede ser determinado alternativamente por una señal del operador de la red.

Por ejemplo, un valor real de la variable "velocidad del viento" o "dirección del viento" puede ser determinado por una salida de datos de una veleta y/o un anemómetro.

VARIABLES DE LA TURBINA EÓLICA O DE LOS ALREDEDORES DE LA TURBINA EÓLICA QUE SE DESCRIBEN EN EL PRESENTE DOCUMENTO PUEDEN SER DETERMINADAS POR CUALQUIER PROCEDIMIENTO ADECUADO QUE PERMITA UNA OPERACIÓN DE UNA TURBINA EÓLICA SEGÚN SE DESCRIBE EN EL PRESENTE DOCUMENTO.

5 En base al valor único real determinado o a múltiples valores reales determinados, tales como los descritos anteriormente, se estima una aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial de la turbina eólica. La estimación de la aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial de la turbina eólica puede corresponder a una comparación del valor o valores determinados de las respectivas variables con valores preseleccionados, que representan los respectivos valores de umbral. La estimación se puede basar en un  
10 valor o en una combinación de diversos valores. El valor o valores pueden proceder de una sola variable o de una combinación de diversas variables.

15 Las formas de realización que se describen en el presente documento incluyen un sistema de turbina eólica que está adaptado para reaccionar con flexibilidad a la situación actual ajustando un límite de velocidad variable según una posible aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial. Como el sistema de turbina eólica no suele estar limitado por límites de velocidad predeterminados, puede ser operado con altos niveles de eficiencia. El inicio de un estado de velocidad excesiva perjudicial se puede estimar en una etapa temprana, de modo que se pueden evitar o al menos reducir grandes cargas en la turbina eólica y en las partes de la turbina eólica, especialmente componentes mecánicos que conforman la turbina. Identificar  
20 un estado futuro inofensivo de la turbina eólica o en la turbina eólica (alrededores de la turbina eólica), para el cual la aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial es baja, evita o al menos disminuye paradas de emergencia innecesarias y/o viajes del personal de servicio a la ubicación de la turbina, así como tiempos de inactividad y tiempos de operación de baja eficiencia.

25 Superar el límite de velocidad variable puede iniciar ciertas acciones o eventos, tales como una reducción de la velocidad del rotor, captación de menos energía o frenado mecánico del rotor hasta su parada, es decir, una parada de emergencia.

30 Según formas de realización, la turbina eólica es operada teniendo en cuenta una combinación del límite de velocidad variable y un primer y/o segundo límite de velocidad adicional predeterminado. El primer o segundo límite de velocidad predeterminado puede provocar el inicio una parada de emergencia, mientras que el límite de velocidad variable puede iniciar, por ejemplo, una reducción de la velocidad del rotor o una captura de menos energía y es ajustada en función del resultado de estimar una aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial de la turbina eólica. Regular la velocidad del rotor teniendo en cuenta tanto  
35 un primer o segundo límite de velocidad predeterminado como el límite de velocidad variable, da lugar a una operación muy eficaz y eficiente de la turbina eólica a la potencia nominal deseada con un alto nivel de seguridad al mismo tiempo.

40 Según formas de realización, la estimación de una aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial de la turbina eólica se puede basar en una primera/segunda variable o en una cierta combinación de la primera y segunda variables. La estimación se puede basar no sólo en una variable indicativa de un estado de fallo, un estado de la turbina eólica o un estado del entorno, sino que también se puede tener en cuenta la aparición de dos fallos que se producen uno tras otro, por ejemplo. Esto permite una gran flexibilidad del sistema de turbina eólica respecto de la situación actual. Un estado de fallo identificado, que se estima que  
45 no conduce a un estado de velocidad excesiva perjudicial, puede tener un gran efecto en daños por fatiga y, por lo tanto, conducir a un estado de velocidad excesiva perjudicial cuando se identifica otro estado de fallo adicionalmente.

50 La Figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica de ejemplo 10. En la forma de realización de ejemplo, la turbina eólica 10 es una turbina eólica de eje horizontal. Alternativamente, la turbina eólica 10 puede ser una turbina eólica de eje vertical. En la forma de realización de ejemplo, la turbina eólica 10 incluye una torre 12 que se extiende desde un sistema de soporte 14, una góndola 16 montada sobre la torre 12, y un rotor 18 que está acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje rotatorio 20 y al menos una pala de rotor 22 acoplada al buje 20 y que se extiende hacia afuera del búfer. En la forma de realización  
55 de ejemplo, el rotor 18 tiene tres palas de rotor 22. En una forma de realización variable, el rotor 18 incluye más o menos de tres palas de rotor 22. En la forma de realización de ejemplo, la torre 12 está fabricada con acero tubular para definir una cavidad (que no se muestra en la Figura 1) entre el sistema de soporte 14 y la góndola 16. En una forma de realización variable, la torre 12 es cualquier tipo de torre que tiene una altura adecuada.

60 Las palas de rotor 22 están espaciadas alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para permitir que la energía cinética del viento sea transferida en forma de energía mecánica utilizable, y posteriormente, en forma de energía eléctrica. Las palas de rotor 22 están acopladas al buje 20 mediante acoplamiento de una parte de raíz de pala 24 al buje 20 en una pluralidad de regiones de transferencia de  
65 carga 26. Las regiones de transferencia de carga 26 tienen una región de transferencia de carga del buje y una región de transferencia de carga de pala (no se muestra ninguna en la Figura 1). Las cargas inducidas en las palas de rotor 22 son transferidas al buje 20 a través de regiones de transferencia de carga 26.

En una forma de realización, las palas de rotor 22 tienen una longitud que va desde unos 15 metros (m) a unos 91 m. Alternativamente, las palas de rotor 22 pueden tener cualquier longitud adecuada que permita a la turbina eólica 10 operar según se describe en el presente documento. Por ejemplo, otros ejemplos no limitantes de longitudes de pala incluyen 10 m o menos, 20 m, 37 m, o una longitud mayor de 91 m. Cuando el viento impacta en las palas de rotor 22 desde una dirección 28, el rotor 18 es rotado alrededor de un eje de rotación 30. A medida que las palas de rotor 22 rotan y son sometidas a fuerzas centrífugas, las palas de rotor 22 también son sometidas a diversas fuerzas y momentos. De este modo, las palas de rotor 22 pueden desviarse y/o rotar desde una posición neutra o no desviada a una posición desviada.

Además, se puede modificar un ángulo de paso o paso de las palas de rotor 22, es decir, un ángulo que determina una perspectiva de las palas de rotor 22 con respecto a la dirección del viento 28 mediante un sistema de ajuste de paso de pala 32 para controlar la carga y la energía generada por la turbina eólica 10 ajustando una posición angular de al menos una pala de rotor 22 con respecto a vectores del viento. Se muestran unos ejes de ajuste de paso de pala 34 para las palas de rotor 22. Durante la operación de la turbina eólica 10, el sistema de ajuste de paso de pala 32 puede cambiar un paso de las palas del rotor 22 de modo que las palas de rotor 22 son movidas a una posición de bandera, de modo que la perspectiva de al menos una pala de rotor 22 con respecto a vectores del viento provoca que una superficie mínima de la pala de rotor 22 se oriente hacia los vectores del viento, lo que facilita reducir una velocidad de rotación del rotor 18 y/o facilita la entrada en pérdida del rotor 18.

En la forma de realización de ejemplo, un sistema de control 36 controla individualmente el paso de cada pala de rotor 22. Alternativamente, el sistema de control 36 puede controlar simultáneamente el paso de pala para todas las palas del rotor 22. Además, en la forma de realización de ejemplo, a medida que cambia la dirección 28, se puede controlar la orientación de la góndola 16 (o del rotor) en torno al eje de orientación del rotor 38 para posicionar las palas del rotor 22 con respecto a la dirección 28.

En la forma de realización de ejemplo, el sistema de control 36 se muestra centralizado dentro de la góndola 16, sin embargo, el sistema de control 36 puede ser un sistema distribuido en la turbina eólica 10, en el sistema de soporte 14, dentro de un parque eólico, y/o en un centro de control remoto. El sistema de control 36 incluye un procesador 40 configurado para realizar los procedimientos y/o las etapas que se describen en el presente documento. Además, muchos de los otros componentes que se describen en este documento incluyen un procesador. Según se utiliza en el presente documento, el término "procesador" no se limita a circuitos integrados a los que la técnica se refiere como un dispositivo informático, sino que se refiere ampliamente a un controlador, un microcontrolador, una micro dispositivo informático, un controlador lógico programable (PLC: programmable logic controller), un circuito integrado específico de aplicación, y otros circuitos programables, y estos términos se utilizan indistintamente en este documento. Se debe entender que un procesador y/o un sistema de control también pueden incluir una memoria, canales de entrada y/o canales de salida.

En las formas de realización que se describen en el presente documento, la memoria puede incluir, sin limitación, un medio legible por dispositivo informático, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM: random access memory), y un medio no volátil legible por dispositivo informático, tal como una memoria flash. Alternativamente, también se puede utilizar un disquete, una memoria de sólo lectura de disco compacto (CD-ROM: compact disc read only memory), un disco magneto-óptico (MOD: magneto optical disk), y/o un disco versátil digital (DVD: digital versatile disc). Además, en las formas de realización que se describen en el presente documento, los canales de entrada incluyen, sin limitación, sensores y/o periféricos informáticos asociados con una interfaz de operador, tales como un ratón y un teclado. Además, en la forma de realización de ejemplo, los canales de salida pueden incluir, sin limitación, un dispositivo de control, un monitor de interfaz de operador y/o una pantalla.

Los procesadores que se describen en este documento procesan información transmitida desde una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, sin limitación, sensores, actuadores, compresores, sistemas de control y/o dispositivos de monitorización. Dichos procesadores pueden estar físicamente ubicados en, por ejemplo, un sistema de control, un sensor, un dispositivo de monitorización, un dispositivo informático de sobremesa, un dispositivo informático portátil, un gabinete de controlador lógico programable (PLC: programmable logic controller) y/o un gabinete de sistema de control distribuido (DCS: distributed control system). La memoria RAM y los dispositivos de almacenamiento almacenan y transfieren información e instrucciones para su ejecución por el procesador o procesadores. La memoria RAM y los dispositivos de almacenamiento también se pueden utilizar para almacenar y proporcionar variables temporales, información e instrucciones estáticas (es decir, no cambiantes) u otra información intermedia a los procesadores durante la ejecución de instrucciones por parte del procesador o procesadores. Las instrucciones que se ejecutan pueden incluir, sin limitación, comandos de control de un sistema de control de la turbina eólica. La ejecución de secuencias de instrucciones no se limita a ninguna combinación específica de circuitos de hardware e instrucciones de software.

La Figura 2 es una vista en sección ampliada de una parte de la turbina eólica 10. En la forma de realización de ejemplo, la turbina eólica 10 incluye la góndola 16 y el buje 20 que está acoplado de forma rotatoria a la góndola 16. Más en concreto, el buje 20 está acoplado de forma rotatoria a un generador eléctrico 42 ubicado dentro de la góndola 16 por medio de un eje de rotor 44 (a veces denominado eje principal o eje de baja velocidad), una multiplicadora 46, un eje de alta velocidad 48 y un acoplamiento 50. En la forma de realización de ejemplo, el eje de rotor 44 está dispuesto coaxialmente con respecto al eje longitudinal 116. La rotación del eje del rotor 44 acciona de forma rotatoria la multiplicadora 46 que posteriormente acciona el eje de alta velocidad 48. El eje de alta velocidad 48 acciona de forma rotatoria el generador 42 con el acoplamiento 50 y la rotación del eje de alta velocidad 48 facilita la producción de energía eléctrica por parte del generador 42. La multiplicadora 46 y el generador 42 están soportados por un soporte 52 y un soporte 54. En la forma de realización de ejemplo, la multiplicadora 46 utiliza una geometría de doble vía para accionar el eje de alta velocidad 48. Alternativamente, el eje del rotor 44 está acoplado directamente al generador 42 con el acoplamiento 50.

La góndola 16 también incluye un mecanismo actuador de orientación del rotor 56 que se puede utilizar para rotar la góndola 16 y el buje 20 en torno al eje de orientación del rotor 38 (que se muestra en la Figura 1) para controlar la perspectiva de las palas de rotor 22 con respecto a la dirección del viento 28. La góndola 16 también incluye al menos un mástil meteorológico 58 que incluye una veleta y un anemómetro (que tampoco se muestra en la Figura 2). El mástil 58 proporciona información al sistema de control 36 que puede incluir la dirección del viento y/o la velocidad del viento. En la forma de realización de ejemplo, la góndola 16 también incluye un rodamiento de soporte principal delantero 60 y un rodamiento de soporte principal trasero 62.

El rodamiento de soporte delantero 60 y el rodamiento de soporte trasero 62 facilitan un soporte radial y una alineación del eje del rotor 44. El rodamiento de soporte delantero 60 está acoplado con el eje del rotor 44 cerca del buje 20. El rodamiento de soporte trasero 62 está ubicado en el eje del rotor 44 cerca de la multiplicadora 46 y/o del generador 42. Alternativamente, la góndola 16 incluye cualquier número de rodamientos de soporte que permiten que la turbina eólica 10 funcione según se indica en el presente documento. El eje del rotor 44, el generador 42, la multiplicadora 46, el eje de alta velocidad 48, el acoplamiento 50, y cualquier dispositivo de sujeción, soporte y/o seguridad asociado, que incluye, pero no se limita a, el soporte 52 y/o el soporte 54, y el rodamiento de soporte delantero 60 y el rodamiento de soporte trasero 62, se denominan a veces tren de transmisión 64.

En la forma de realización de ejemplo, el buje 20 incluye una unidad de ajuste de paso de pala 66. La unidad de ajuste de paso de pala 66 incluye uno o más sistemas actuadores de paso de pala 68 y al menos un sensor 70. Cada sistema actuador de paso de pala 68 está acoplado a una respectiva pala de rotor 22 (que se muestra en la Figura 1) para modular el paso de pala de la pala de rotor asociada 22 a lo largo del eje de paso de pala 34. En la Figura 2 sólo se muestra uno de los tres sistemas actuadores de paso de pala 68.

En la forma de realización de ejemplo, la unidad de ajuste de paso de pala 66 incluye al menos un rodamiento de paso de pala 72 acoplado con el buje 20 y con la respectiva pala de rotor 22 (que se muestran en la Figura 1) para rotar la respectiva pala de rotor 22 alrededor del eje de paso de pala 34. El sistema actuador de paso de pala 68 incluye un motor actuador de paso de pala 74, una reductora actuadora de paso de pala 76 y un piñón actuador de paso de pala 78. El motor actuador de paso de pala 74 está acoplado a la reductora actuadora de paso de pala 76 de tal manera que el motor actuador de paso de pala 74 ejerce una fuerza mecánica a la reductora actuadora de paso de pala 76. La reductora actuadora de paso de pala 76 está acoplada al piñón actuador de paso de pala 78 de tal manera que el piñón actuador de paso de pala 78 es rotado por la reductora actuadora de paso de pala 76. El rodamiento de paso de pala 72 está acoplado con el piñón actuador de paso de pala 78 de tal manera que la rotación del piñón actuador de paso de pala 78 provoca la rotación del rodamiento de paso de pala 72. Más en concreto, en la forma de realización de ejemplo, el piñón actuador de paso de pala 78 está acoplado con el rodamiento de paso de pala 72 de tal manera que la rotación de la reductora actuadora de paso de pala 76 hace rotar el rodamiento de paso de pala 72 y la pala de rotor 22 alrededor del eje de paso de pala 34 para cambiar el paso de la pala 22.

El sistema actuador de paso de pala 68 está acoplado con el sistema de control 36 para ajustar el paso de pala de rotor 22 con la recepción de una o más señales procedentes del sistema de control 36. En la forma de realización de ejemplo, el motor actuador de paso de pala 74 es cualquier motor adecuado accionado por energía eléctrica y/o un sistema hidráulico que permite que la unidad de ajuste de paso de pala 66 funcione según se describe en el presente documento. Alternativamente, la unidad de ajuste de paso de pala 66 puede incluir cualquier estructura, configuración, disposición, y/o componentes adecuados tales como, pero sin limitarse a, cilindros hidráulicos, resortes, y/o servo-mecanismos. Además, la unidad de ajuste de paso de pala 66 puede ser accionado por cualquier medio adecuado tal como, pero sin limitarse a, fluido hidráulico y/o energía mecánica, tal como por ejemplo, pero sin limitarse a, fuerzas de resorte inducidas y/o fuerzas electromagnéticas. En ciertas formas de realización, el motor actuador de paso de

pala 74 es accionado por energía extraída de la inercia rotatoria del buje 20 y/o de una fuente de energía almacenada (que no se muestra) que suministra energía a los componentes de la turbina eólica 10.

5 La unidad de ajuste de paso de pala 66 también incluye uno o más sistemas de control de velocidad  
 excesiva 80 para controlar el sistema actuador de paso de pala 68 durante una velocidad excesiva del rotor.  
 En la forma de realización de ejemplo, la unidad de ajuste de paso de pala 66 incluye al menos un sistema  
 de control de velocidad excesiva 80 acoplado comunicativamente con el respectivo sistema actuador de  
 10 paso de pala 68 para controlar el sistema actuador de paso de pala 68 con independencia del sistema de  
 control 36. En una forma de realización, la unidad de ajuste de paso de pala 66 incluye una pluralidad de  
 sistemas de control de velocidad excesiva 80 cada uno de los cuales está acoplado comunicativamente con  
 un respectivo sistema actuador de paso de pala 68 para operar el respectivo sistema actuador de paso de  
 pala 68 con independencia del sistema de control 36. El sistema de control de velocidad excesiva 80  
 también está acoplado comunicativamente con el sensor 70. En la forma de realización de ejemplo, el  
 15 sistema de control de velocidad excesiva 80 está acoplado con el sistema actuador de paso de pala 68 y  
 con el sensor 70 mediante una pluralidad de cables 82. Alternativamente, el sistema de control de velocidad  
 excesiva 80 está acoplado comunicativamente con el sistema actuador de paso de pala 68 y con el sensor  
 70 usando cualquier dispositivo de comunicaciones por cable y/o inalámbrico adecuado. Durante la  
 operación normal de la turbina eólica 10, el sistema de control 36 controla el sistema actuador de paso de  
 20 pala 68 para ajustar un paso de pala de rotor 22. En una forma de realización, cuando el rotor 18 opera a  
 una velocidad excesiva del rotor, el sistema de control de velocidad excesiva 80 se antepone al sistema de  
 control 36, de modo que el sistema de control 36 deja de controlar el sistema actuador de paso de pala 68  
 y el sistema de control de velocidad excesiva 80 controla el sistema actuador de paso de pala 68 para  
 mover la pala de rotor 22 a una posición de bandera para disminuir la rotación del rotor 18.

25 Un generador de energía 84 está acoplado con el sensor 70, con el sistema de control de velocidad excesiva  
 80, y con el sistema actuador de paso de pala 68 para proporcionar una fuente de energía a la unidad de  
 ajuste de paso de pala 66. En la forma de realización de ejemplo, el generador de energía 84 proporciona  
 una fuente continua de energía a la unidad de ajuste de paso de pala 66 durante la operación de la turbina  
 eólica 10. En una forma de realización variable, el generador de energía 84 proporciona energía a la unidad  
 30 de ajuste de paso de pala 66 durante un evento de pérdida de potencia eléctrica de la turbina eólica 10. El  
 evento de pérdida de potencia eléctrica puede incluir una pérdida de la red eléctrica, un mal funcionamiento  
 del sistema eléctrico de la turbina y/o un fallo del sistema de control de la turbina eólica 36. Durante el  
 evento de pérdida de potencia eléctrica, el generador de energía 84 opera para proporcionar energía  
 eléctrica a la unidad de ajuste de paso de pala 66, de modo que la unidad de ajuste de paso de pala 66  
 35 puede funcionar durante el evento de pérdida de potencia eléctrica.

En la forma de realización de ejemplo, el sistema actuador de paso de pala 68, el sensor 70, el sistema de  
 control de velocidad excesiva 80, los cables 82 y el generador de energía 84 están cada uno de ellos  
 40 ubicados en una cavidad 86 definida por una superficie interior 88 del buje 20. En una forma de realización  
 particular, el sistema actuador de paso de pala 68, el sensor 70, el sistema de control de velocidad excesiva  
 80, los cables 82, y/o el generador de energía 84 están acoplados, directa o indirectamente, a la superficie  
 interior 88. En una forma de realización variable, el sistema actuador de paso de pala 68, el sensor 70, el  
 sistema de control de velocidad excesiva 80, los cables 82 y el generador de energía 84 están situados con  
 respecto a una superficie exterior 90 del buje 20 y pueden estar acoplados, directa o indirectamente, a la  
 45 superficie exterior 90.

La Figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento de ejemplo 100 para operar una turbina  
 eólica, tal como la turbina eólica 10 de la Figura 1. En la forma de realización de ejemplo, el procedimiento  
 50 100 incluye determinar 101 un valor real de una primera variable indicativa de un estado de fallo de la  
 turbina eólica 10. Por ejemplo, la primera variable puede ser un evento de pérdida de potencia eléctrica,  
 que puede incluir una pérdida de la red eléctrica o un mal funcionamiento del sistema eléctrico de la turbina.  
 Alternativamente, la primera variable puede ser, por ejemplo, un fallo de ajuste de paso de pala, una flexión  
 de una o más palas de rotor, tales como las palas de rotor 22, o un desplazamiento de pala, tal como un  
 desplazamiento de pala 22, o cualquier otra variable que indique un estado de fallo de la turbina eólica.  
 55

El procedimiento de ejemplo 100 incluye además determinar 102 un valor real de una segunda variable de  
 la turbina eólica correlacionada con un estado de la turbina eólica o un estado del entorno. Por ejemplo, la  
 segunda variable corresponde a la velocidad del viento y/o la dirección del viento en el entorno de la turbina  
 eólica, la salida de potencia de la turbina eólica, la velocidad del rotor o la aceleración del rotor de la turbina  
 eólica.  
 60

El procedimiento de ejemplo 100 incluye además estimar 103 una aparición de un estado de velocidad  
 excesiva perjudicial de la turbina eólica 10 a partir de al menos uno de los valores reales determinados. Los  
 valores se determinan a partir de al menos una de la primera variable y la segunda variable.  
 65

El procedimiento de ejemplo 100 incluye además ajustar 104 un límite de velocidad variable en base al  
 resultado de la estimación de la aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial. Por último, el

## ES 2 809 221 T3

procedimiento de ejemplo 100 incluye operar 105 la turbina eólica, en particular regular 105 la velocidad del rotor de la turbina eólica, teniendo en cuenta el límite de velocidad variable.

5 Según algunas formas de realización, la estimación 103 de la aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial incluye identificar una velocidad futura del rotor en base a al menos uno de los valores reales determinados de al menos una de la primera variable y/o la segunda variable y, opcionalmente, comparar la velocidad futura del rotor identificada con un valor preseleccionado de velocidad del rotor para identificar un estado de velocidad excesiva perjudicial de la turbina eólica. Por ejemplo, y sin limitarse al procedimiento de la Figura 3, la estimación 103 de la aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial se puede  
10 realizar identificando el período de tiempo para alcanzar un valor preseleccionado de velocidad del rotor en base a al menos uno de los valores reales determinados de la primera y segunda variables y comparando el período de tiempo identificado con un período de tiempo predeterminado. Alternativamente, la estimación de la aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial incluye validar al menos uno de los valores reales determinados de la primera y segunda variables comparando dichos valores con una lista de valores preseleccionados.  
15

La Figura 4 muestra un gráfico de ejemplo de series temporales de una velocidad de viento 700 que normalmente conduce a un aumento de una velocidad del rotor. La unidad de la velocidad del viento, que se representa en el eje vertical, es el metro por segundo y la unidad del tiempo, que se representa en el eje  
20 horizontal, es el minuto.

El aumento de la velocidad del rotor provocado por el aumento de la velocidad del viento 700 se muestra en la Figura 5 para al menos una turbina eólica conocida (línea discontinua 706), y para una turbina eólica de acuerdo con formas de realización de ejemplo según se describe en el presente documento (línea 708).  
25 La unidad de la velocidad del rotor, que se representa en el eje vertical, es revolución por minuto. La unidad de tiempo, que se representa en el eje horizontal, es el minuto. El período de tiempo que se muestra en la Figura 5 corresponde a 10 minutos.

La Figura 5 ilustra esquemáticamente la respuesta de una turbina eólica según las formas de realización que se describen en el presente documento, que es operada teniendo en cuenta un límite de velocidad variable en comparación con la respuesta de una turbina eólica conocida, que es operada teniendo en cuenta un límite de velocidad predeterminado.  
30

La velocidad nominal del rotor tanto de la turbina eólica de ejemplo como de la turbina eólica conocida corresponde a la línea 710. Debido al aumento de la velocidad del viento 700, la velocidad del rotor de la turbina eólica conocida 706 supera en el momento t1 tanto el valor de la velocidad nominal del rotor (línea 710) como el valor de una velocidad de rotor predeterminada 703, que se establece un 11% por encima de la velocidad nominal del rotor 710. En la turbina eólica conocida, el control ajusta la operación de la turbina eólica de tal manera que se reduce la velocidad del rotor tan pronto como la velocidad del rotor 706 supera el valor predeterminado 703, es decir, en el momento t2. Como resultado, la velocidad del rotor 706 aumenta más lentamente y alcanza el valor de la velocidad nominal del rotor 710 en el momento t4. Posteriormente, la velocidad del rotor 706 aumenta y disminuye de acuerdo con la evolución de la velocidad del viento 700, con lo que una cierta fluctuación de la velocidad del rotor 706 es también resultado de las medidas de regulación del sistema de control 36.  
35  
40  
45

La Figura 5 también muestra la velocidad del rotor 708 de la turbina eólica de acuerdo con formas de realización que se describen en este documento. En el momento t1 se determina un valor real de una primera y segunda variables, a partir de lo cual se estima la aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial. En particular, el sistema de control 36, o alternativamente el sistema de control de velocidad excesiva 80, de la forma de realización de ejemplo registra datos correspondientes a la primera y segunda variables.  
50

Los datos registrados de la primera variable indicativa de un estado de fallo de la turbina eólica corresponden a eventos que afectan negativamente a la turbina eólica, tales como un desplazamiento de pala, un fallo de ajuste de paso de pala y una pérdida de la red. Esto significa que se monitoriza la aparición real de eventos tales como un desplazamiento de pala, un fallo de ajuste de paso de pala y una pérdida de red o similares. En el momento t1, no se monitoriza ninguno de dichos eventos. Por lo tanto, el estado de fallo de la turbina eólica es negativo.  
55

Además de la primera variable, también se determinan en el momento t1 unos valores reales de la segunda variable correlacionados con un estado del entorno. El estado del entorno corresponde al estado del viento en el entorno de la turbina eólica de ejemplo. Por consiguiente, la segunda variable del estado del viento es la velocidad actual del viento. Alternativamente, la segunda variable corresponde a la dirección del viento, un historial de la velocidad del viento durante un determinado período de tiempo o similar. En el momento t1 el valor actual y el historial de la velocidad del viento son detectados por un anemómetro y un sistema sensor, tal como el sensor 70.  
60  
65

En base al estado de fallo de la turbina eólica negativo y el valor registrado y/o la historia de la velocidad del viento, el sistema de control 36, o alternativamente el sistema de control de velocidad excesiva 80, de la forma de realización de ejemplo calcula o estima la aparición de un futuro estado de velocidad excesiva perjudicial. El resultado de la estimación de la aparición de un futuro estado de exceso de velocidad perjudicial es negativo, lo que significa que no se espera ningún estado de exceso de velocidad en el futuro. Según una forma de realización, el primer límite de velocidad predeterminado existente 703 es sobrescrito y sustituido por el límite de velocidad variable 705. Como en el ejemplo de la Figura 5 no hay ningún evento que afecte negativamente a la turbina eólica además del aumento de la velocidad del viento 700, se puede establecer el límite de velocidad variable 705 por encima del primer límite de velocidad predeterminado 703, por ejemplo, hasta un 10% o incluso un 15% por encima del primer límite de velocidad predeterminado 703.

Como consecuencia del ajuste del límite de velocidad variable 705 por encima del primer límite de velocidad predeterminado 703, la velocidad del rotor de la turbina eólica de ejemplo 708 no se reduce en el momento  $t_2$  y, por lo tanto, aumenta aún más de acuerdo con el aumento de la velocidad del viento 700 (véase la Figura 5). En el momento  $t_3$  la velocidad del rotor 708 de la turbina eólica de ejemplo alcanza su valor máximo debido al viento máximo en dicho momento. Posteriormente, la velocidad del rotor 708 aumenta y disminuye en función del aumento y la disminución de la velocidad del viento 700. En el momento  $t_5$ , la velocidad del rotor 708 alcanza la velocidad nominal del rotor 710 de acuerdo con la disminución de la velocidad del viento 700 que se muestra en la Figura 4.

En el caso de que la velocidad del rotor 708 aumentara por encima del nivel mostrado en la Figura 5, se superaría el límite de velocidad variable 705 y se iniciaría una reducción de la velocidad del rotor 708 para disminuir el rotor y evitar un estado de velocidad excesiva perjudicial para la turbina eólica.

Aunque la velocidad del rotor 708 supera el límite de velocidad predeterminado durante algún tiempo, no se producen daños en los componentes mecánicos y eléctricos de la turbina eólica. Se puede evitar un aumento significativo de la carga que actúa sobre componentes de la turbina eólica mediante una disminución inmediata de la velocidad del rotor (como en el caso de la turbina eólica conocida 706) y se puede prolongar la vida útil de la turbina. Además, la regulación de la velocidad del rotor de una turbina eólica conocida (línea 706) que tiene en cuenta el límite de velocidad predeterminado 703 aumentando y disminuyendo la velocidad del rotor da lugar en general a fuerzas alternas que actúan sobre la torre. En algunos casos, estas fuerzas alternas pueden excitar los modos de resonancia de la torre y provocar una vibración de resonancia de la torre. Como no es necesario modificar la velocidad del rotor de la turbina eólica de ejemplo (línea 708) en el ejemplo proporcionado de la Figura 5, se evita dicha vibración de resonancia de la torre y una posible parada necesaria de la turbina eólica.

La Figura 6 muestra otra situación de una turbina eólica según las formas de realización, cuya velocidad de rotor se regula teniendo en cuenta un límite de velocidad variable como el que se describe en el presente documento en comparación con una turbina eólica conocida teniendo en cuenta un límite de velocidad predeterminado. Para los detalles relativos al diagrama, tales como ejes, unidades y similares, se hace referencia a la Figura 5.

La respuesta de una turbina conocida al producirse un fallo, tal como un desplazamiento de pala, en el momento  $t_F$  es un aumento de la velocidad del rotor 706. Cuando la velocidad del rotor 706 alcanza el primer límite de velocidad predeterminado 703, se inicia una parada de emergencia, es decir, en el momento  $t_S$ . En el caso de la forma de realización de ejemplo, en el momento  $t_F$ , se determina un valor real de una primera variable, a partir del cual se estima la aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial. La primera variable corresponde a un estado de fallo, en particular un desplazamiento de pala, de la turbina eólica. El sistema de control 36, o alternativamente el sistema de control de velocidad excesiva 80 de la forma de realización de ejemplo calcula o estima la aparición de un futuro estado de velocidad excesiva perjudicial. Esto se puede realizar clasificando el evento actual, tal como un desplazamiento de pala, según su grado de peligrosidad. Los eventos clasificados como peligrosos para la turbina eólica, en particular para la vida útil o los componentes mecánicos de la misma, pueden requerir una parada de emergencia, mientras que otros eventos clasificados como menos peligrosos pueden no requerir dicha respuesta, otra acción o ninguna acción. El evento de un desplazamiento de pala no requiere una desaceleración brusca del rotor hasta la parada.

De acuerdo con una forma de realización, sobrescribir el primer límite de velocidad predeterminado 703 (línea discontinua) por el límite de velocidad variable 705 (línea discontinua) le da un tiempo al sistema de turbina eólica para reaccionar ante la aparición del fallo. En este caso, el sistema de control 36, o alternativamente el sistema de control de velocidad excesiva 80, de la forma de realización de ejemplo puede reaccionar ante la situación actual desacelerando la velocidad del rotor 708 de la turbina eólica y solucionando el desplazamiento de pala. La ventaja de suministrar un límite de velocidad variable es que el sistema de turbina eólica puede reaccionar de manera flexible ante la situación actual, tal como por ejemplo ante la aparición de un fallo. Se pueden evitar paradas de emergencia innecesarias seguidas de tiempos de inactividad y se pueden reducir los viajes del personal de servicio de la turbina eólica.

La Figura 7 ilustra esquemáticamente la respuesta de una turbina eólica según formas de realización que se describen en el presente documento, que es regulada teniendo en cuenta un límite de velocidad variable en comparación con la respuesta de una turbina eólica conocida que es regulada teniendo en cuenta dos límites de velocidad predeterminados. Para los detalles relativos a ejes, unidades y similares, se hace referencia a la Figura 5. La velocidad del viento que actúa sobre la turbina de ejemplo se muestra en la Figura 4.

La Figura 7 muestra el comportamiento de la velocidad del rotor de una turbina eólica conocida 706 en comparación con el comportamiento de la velocidad del rotor de una turbina eólica de ejemplo 708. En el momento tP, se produce un fallo, tal como un fallo de ajuste de paso de pala. Esto da lugar a un aumento de las velocidades del rotor tanto de la turbina eólica conocida 706 como de la forma de realización de ejemplo de una turbina eólica 708.

En el momento t1 la velocidad del viento 700 (ver Figura 4) aumenta notablemente con la consecuencia de que la velocidad del rotor 706 aumenta aún más. La velocidad del rotor de la turbina eólica conocida 706 aumenta hasta que alcanza el primer límite de velocidad predeterminado 703 en el momento tI. Después de superar el primer límite de velocidad 703, en el momento tI, el sistema de control 36, o alternativamente el sistema de control de velocidad excesiva 80, intenta reducir la velocidad del rotor de la turbina eólica conocida. A causa de la aparición del fallo de ajuste de paso de pala, la reducción de la velocidad del rotor de la turbina eólica conocida no tiene éxito. Como consecuencia, la velocidad del rotor 706 aumenta hasta superar un segundo límite de velocidad predeterminado 704 en el momento tII, lo que inicia la parada de emergencia inmediata de la turbina eólica frenando activamente el rotor por medio del sistema de emergencia. El resultado son altas cargas en las partes mecánicas y eléctricas de la turbina eólica conocida y la necesidad de personal de servicio en la ubicación de la turbina para volver a arrancar la turbina eólica conocida.

Con la forma de realización de ejemplo, ya en el momento t1 se identifica el fallo de ajuste de paso de pala como resultado de la determinación de un valor real, a saber, un mal funcionamiento de la unidad de ajuste de paso de pala 66, en particular la modulación sin éxito del paso de pala de una pala de rotor asociada 22. Dado que la aparición de un fallo de ajuste de paso de pala a la velocidad del viento determinada no es perjudicial para la turbina eólica de ejemplo y los componentes de la turbina eólica, no se requiere una reacción drástica del sistema de turbina eólica, tal como un frenado del rotor o una parada de emergencia. Como resultado, no se estima ningún estado de velocidad excesiva perjudicial en el momento tP.

Sin embargo, en el momento t1, se determina un gran aumento de la velocidad del viento de acuerdo con el aumento de la velocidad del viento 700. En base a la determinación de los valores reales y a la estimación de la aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial realizada en el momento tP con el resultado de un fallo de ajuste de paso de pala, se realiza otra estimación de la aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial en el momento t1. A causa de la coincidencia de dos eventos diferentes, a saber, la aparición del fallo de ajuste de paso de pala y el aumento de la velocidad del viento, se estima un estado de velocidad excesiva perjudicial en el momento t1.

Como consecuencia, se ajusta el límite de velocidad variable 705 muy por debajo del límite de velocidad predeterminado primero 703 y segundo 704. Posteriormente, el sistema de control 36, o alternativamente el sistema de control de velocidad excesiva 80, intenta reducir la velocidad del rotor 708 de la turbina eólica de ejemplo. El resultado es una atenuación del aumento de la velocidad del rotor 708 de acuerdo con el límite de velocidad variable 705. El ajuste de un límite de velocidad variable proporciona al sistema de turbina eólica tiempo suficiente para reaccionar ante la aparición de un evento, tal como un fallo de ajuste de paso de pala o un aumento de la velocidad del viento. En el caso de que no se pueda solucionar el fallo de ajuste de paso de pala y la velocidad del rotor siga aumentando, el segundo límite de velocidad predeterminado 704 todavía puede ser activado y puede funcionar como una configuración de emergencia.

A diferencia de los sistemas de turbina eólica conocidos, las formas de realización de ejemplo que se describen en este caso normalmente no se someten a altas cargas causadas por un frenado de emergencia repentino. Esto contribuye positivamente a la vida operativa de la turbina eólica.

Anteriormente se han descrito en detalle ejemplos de sistemas y procedimientos para operar una turbina eólica. Los sistemas y procedimientos no se limitan a las formas de realización específicas que se describen en el presente documento, sino que se pueden utilizar componentes de los sistemas y/o etapas de los procedimientos con independencia y por separado de otros componentes y/o etapas que se describen en este documento. Por ejemplo, el procedimiento puede evaluar valores de una variable determinados a través de un sensor y valores de otra variable determinados utilizando un modelo matemático adecuado que tiene como entrada la primera variable y otras variables dinámicas, tales como la velocidad del viento, y no se limitan a la práctica con sólo los sistemas de turbinas eólicas según se describen en el presente documento. Más bien, la forma de realización de ejemplo puede ser implementada y utilizada en conexión con muchas otras aplicaciones de palas de rotor. Aunque se pueden mostrar características específicas de diversas formas de realización de la invención en algunos dibujos y no en otros, esto es sólo por motivos

de conveniencia. De acuerdo con los principios de la invención, cualquier característica de un dibujo puede ser referenciada y/o reivindicada en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.

- 5 Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, que incluyen la modalidad preferida, y también para permitir a cualquier persona experta en la materia practicar la invención, incluyendo la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualesquiera procedimientos incorporados. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la materia. Se pretende que dichos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del
- 10 lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales respecto al lenguaje literal de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento (100) para operar una turbina eólica (10), incluyendo la turbina eólica (10) un rotor (18) con al menos una pala de rotor (22), comprendiendo dicho procedimiento:
- 5        determinar (101) un valor real de al menos una de entre una primera variable indicativa de un estado de fallo de la turbina eólica (10) y una segunda variable de la turbina eólica (10) correlacionada con un estado de la turbina eólica o un estado del entorno,
- 10        estimar (103) una aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial de la turbina eólica (10) a partir de al menos uno de los valores reales determinados, en el que dicha estimación de una aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial de la turbina eólica comprende identificar una futura velocidad de rotor en base a al menos uno de los valores reales determinados de al menos una de entre la primera variable y la segunda variable, y en el que dicha estimación de una aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial de la turbina eólica comprende además comparar la futura velocidad de rotor identificada con un valor de velocidad de rotor preseleccionado, en el que un límite de velocidad variable es
- 15        ajustado en base al resultado de dicha estimación, en el que dicho límite de velocidad variable se establece por debajo de un primer límite de velocidad predeterminado cuando se estima un estado de velocidad excesiva perjudicial, y en el que dicho límite de velocidad variable se establece por encima de un primer límite de velocidad predeterminado cuando no se estima un estado de velocidad excesiva perjudicial; y
- 20        operar dicha turbina eólica (10) teniendo en cuenta el límite de velocidad variable.
2. El procedimiento (100) según la reivindicación 1, en el que dicha primera variable corresponde a uno de entre un evento de pérdida de potencia eléctrica, una flexión de una o más palas de rotor (22), un desplazamiento de pala o un fallo de ajuste de paso de pala.
- 25        3. El procedimiento (100) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha segunda variable corresponde a una de entre velocidad del viento y dirección del viento en la turbina eólica (10), una salida de potencia, la velocidad del rotor o la aceleración del rotor de la turbina eólica.
- 30        4. El procedimiento (100) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la turbina eólica (10) es operada teniendo en cuenta una combinación del límite de velocidad variable y al menos uno de entre un primer y un segundo límite de velocidad adicional predeterminado.
- 35        5. El procedimiento (100) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha estimación de una aparición de un estado de velocidad excesiva perjudicial de la turbina eólica (10) se basa en una combinación de dicha primera variable y al menos una de entre otra primera variable y dicha segunda variable.
- 40        6. El procedimiento (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicha estimación se basa en una combinación de dicha segunda variable y al menos una de entre otra segunda variable y dicha primera variable.
7. Un sistema de control (80) para uso con una turbina eólica (10), estando dicho sistema de control configurado para utilizar un procedimiento (100) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 45        8. Una turbina eólica (10), que comprende:
- a) un rotor (18) con al menos una pala de rotor (22); y
- b) un sistema de control (80) para operar dicha turbina eólica (10) según la reivindicación 7.



FIG. 2

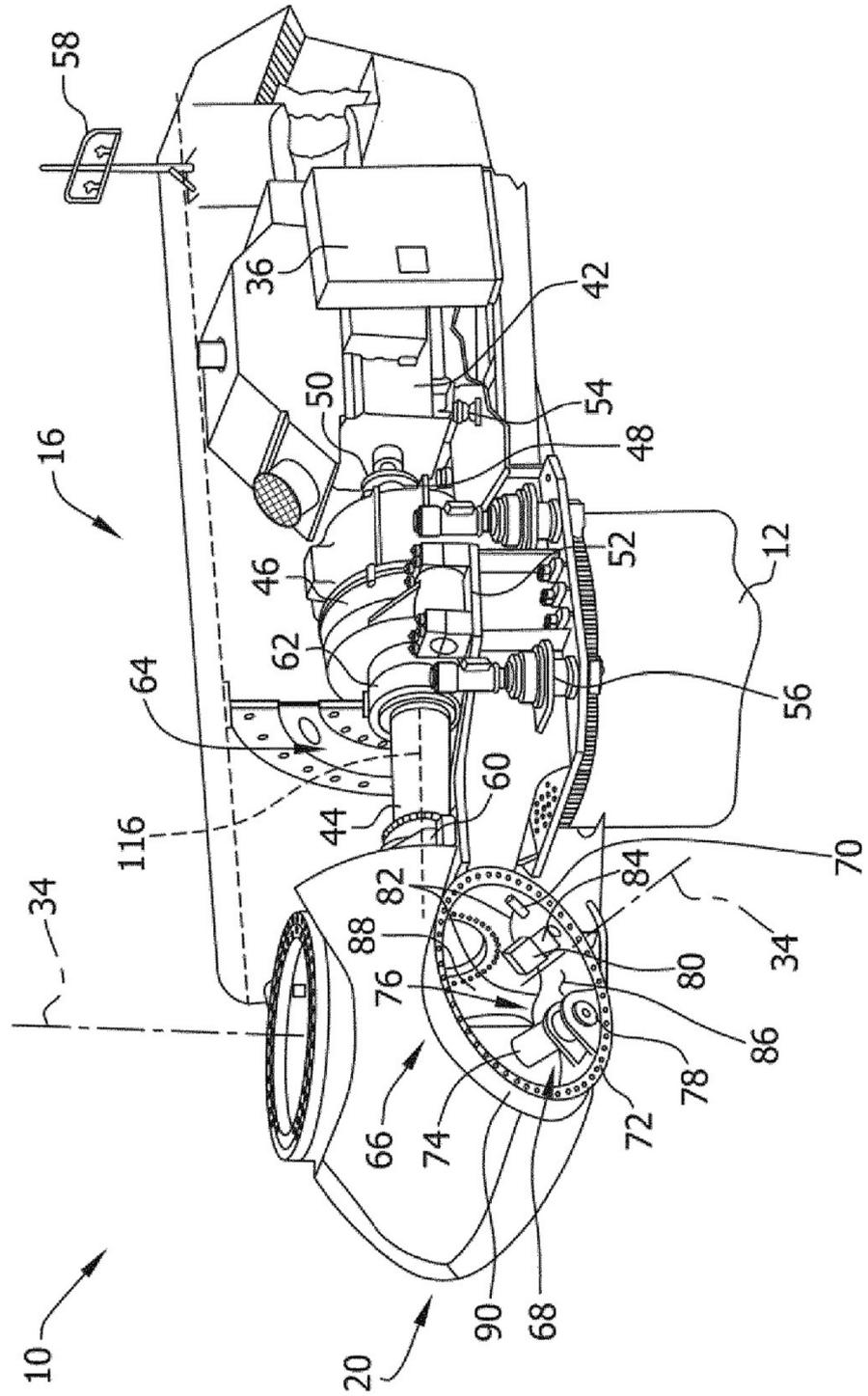


FIG. 3

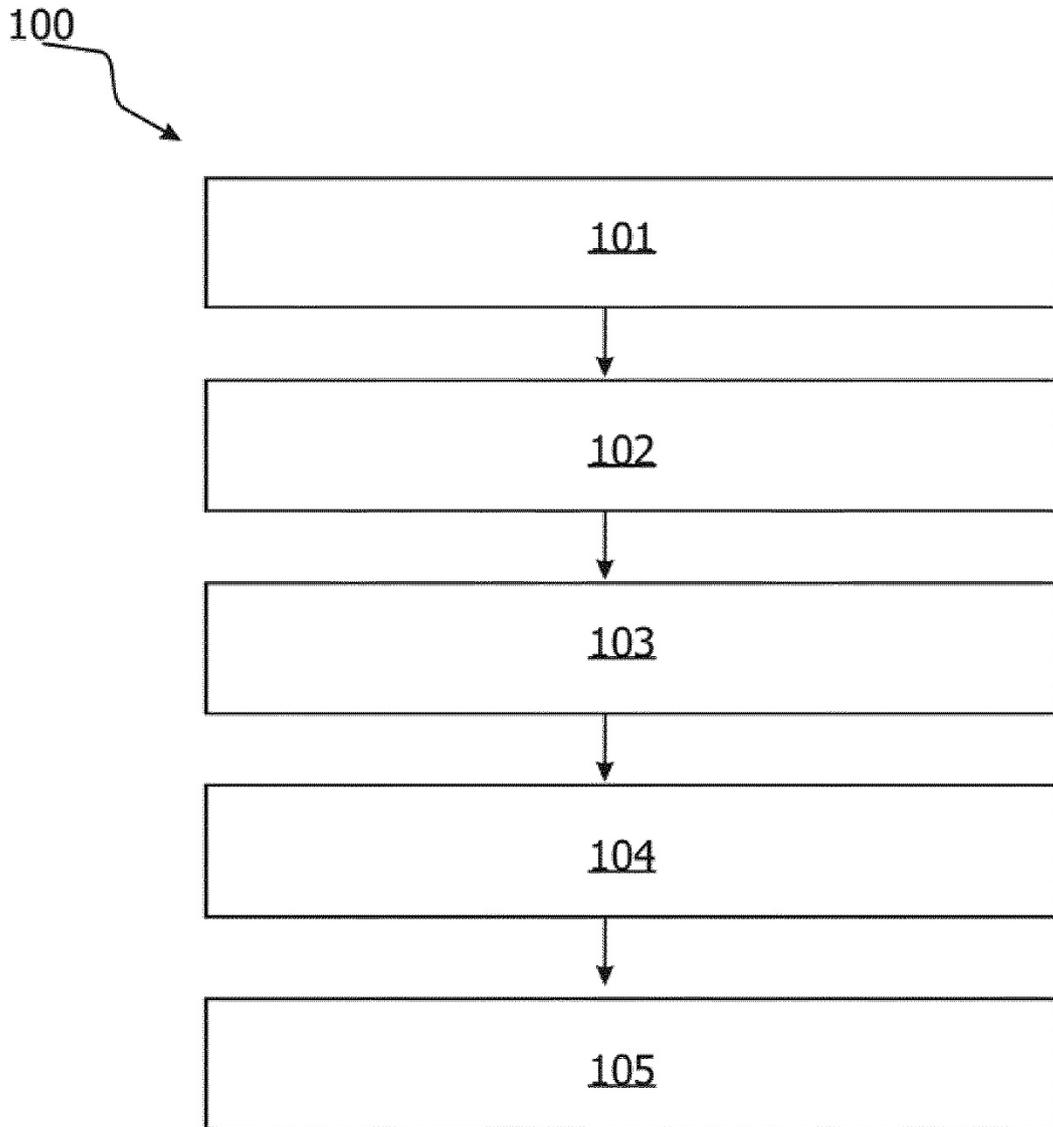


FIG. 4

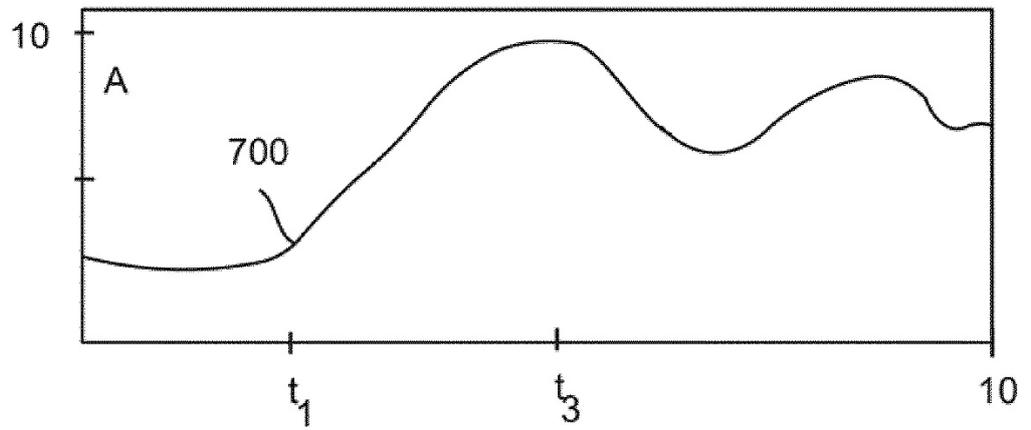


FIG. 5

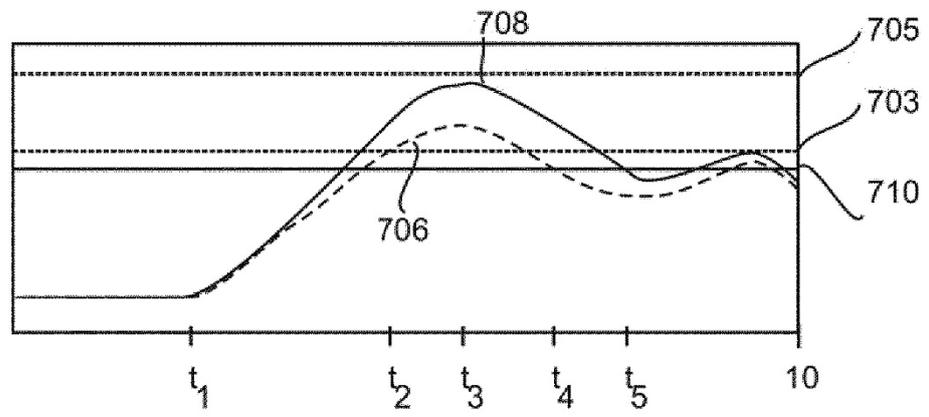


FIG. 6

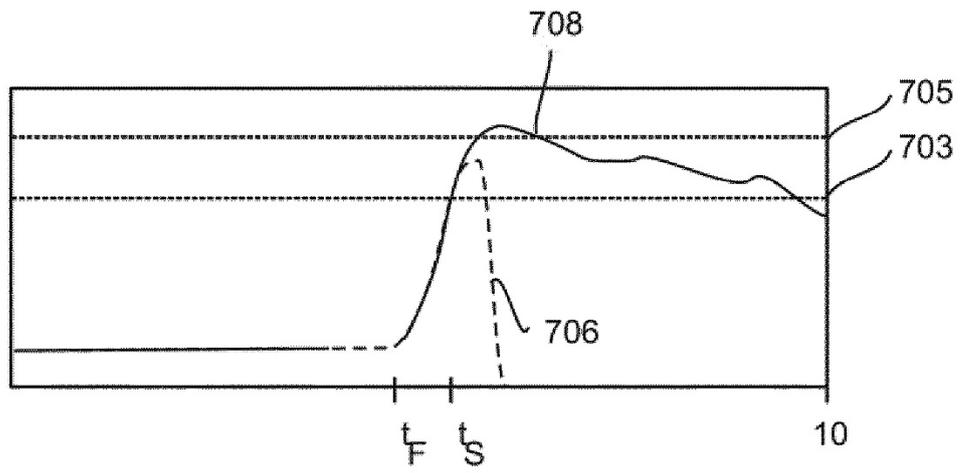


FIG. 7

