

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 633 816**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.08.2011 PCT/DK2011/050315**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.03.2012 WO12025121**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.08.2011 E 11749720 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.06.2017 EP 2609326**

54 Título: **Método de operación de una turbina eólica y turbina eólica**

30 Prioridad:

23.08.2010 US 376080 P
23.08.2010 DK 201000741

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.09.2017

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

BRATH, PER

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 633 816 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

Método de operación de una turbina eólica y turbina eólica

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método de operación de una turbina eólica y, en particular, a un método de operación de una turbina eólica en situaciones específicas.

10 Antecedentes de la invención

Hoy en día, las turbinas eólicas son plantas de generación complejas y caras. Para operar una turbina eólica de una forma rentable, es importante que los periodos de parada sean tan cortos como sea posible. Sin embargo, este requisito no puede satisfacerse fácilmente, dado que la turbina eólica ha de protegerse frente a daños, resultantes, por ejemplo, de fuertes cargas provocadas por elevadas velocidades del viento, o por fallos de la turbina eólica en sí. Para proteger a una turbina eólica en condiciones de fuerte viento es conocido en general detener la turbina eólica en caso de que la velocidad del viento exceda un cierto límite.

Más aún, por el documento US 7.476.985 B2 es conocido operar una turbina eólica de modo seguro en el caso de que la velocidad del viento exceda un cierto límite. En el modo seguro se reduce la potencia de salida de la turbina eólica.

Por el documento EP 2 026 160 A1 se conoce decidir acerca de la detención de una turbina eólica, basándose en un evento que se presente, tal como formación de hielo, integridad estructural de las piezas de la turbina eólica, etc.

Más aún, por el documento EP 1 531 376 B1 se conoce un sistema de mantenimiento predictivo, que genera alarmas con relación a fallos o averías de componentes mecánicos de la turbina eólica, basándose en un análisis de vibraciones.

El documento de HAMZEED Z ET AL: "*Condition monitoring and fault detection of wind turbines and related algorithms: A review*", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elseviers Science, Nueva York, NY, Estados Unidos, vol. 13, n.º 1, 1 de enero de 2009 (2009-01-01), páginas 1-39, XP025496619, ISSN: 1364-0321, DOI: 10.1016/J.RSER.2007.05.008 describe la supervisión de la condición y detección de defectos de las turbinas eólicas y los algoritmos relacionados.

El documento de ROTHENHAGEN K ET AL: "*Advanced sensor fault detection and control reconfiguration of wind power plants using doubly fed induction generators*", Power Electronics Specialists Conference, 2008. PESC 2008. IEEE, IEEE, Piscataway, NJ, Estados Unidos, 15 de junio de 2008, páginas 913- 919, XP031300089, ISBN: 978-1-4244-1667-7 describe detección avanzada de defectos en los sensores y reconfiguración del control para plantas de generación eólica usando generadores de inducción doblemente alimentados.

Es un objeto de la presente invención proporcionar un método de operación de la turbina eólica y una turbina eólica que proporcionen una disponibilidad mejorada de la turbina eólica.

45 Sumario de la invención

De acuerdo con un primer aspecto, la invención proporciona un método de operación de una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1.

De acuerdo con un segundo aspecto, la invención proporciona una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 10.

Los aspectos adicionales de la invención se exponen en las reivindicaciones dependientes, en la siguiente descripción y en los dibujos.

55 Breve descripción de los dibujos

Se explican realizaciones de la presente invención por medio de ejemplos con respecto a los dibujos adjuntos, en los que:

la Fig. 1 ilustra una curva típica de una variable de proceso de una turbina eólica bajo el uso de un control de tolerancia a defectos de acuerdo con la presente invención;
 la Fig. 2 muestra un diagrama de flujo de una realización del método para la operación de una turbina eólica de acuerdo con la presente invención;
 la Fig. 3 ilustra esquemáticamente una realización de una turbina eólica de acuerdo con la presente invención;
 la Fig. 4 ilustra esquemáticamente un control para el control de una turbina eólica de la Fig. 3; y

la Fig. 5 ilustra esquemáticamente un escenario de alarma tal como se usa en algunas realizaciones de la presente invención.

Descripción detallada de realizaciones

5 La Fig. 1 muestra un ejemplo de una operación en modo seguro de acuerdo con una realización de la presente invención. Antes de una descripción detallada de las realizaciones, se dan explicaciones generales.

10 Como se ha señalado al comienzo, las turbinas eólicas son plantas de generación caras y se pretende operar una turbina eólica de tal manera que el tiempo de parada global sea tan corto como sea posible. Sin embargo, la turbina eólica ha de protegerse frente a daños, resultantes, por ejemplo, de fuertes cargas provocadas por elevadas velocidades del viento, o frente a fallos de la turbina eólica en sí, tales como defectos en el tren de accionamiento, generador, sistema hidráulico, etc.

15 Como también se ha indicado al comienzo, en general, es conocido detener o parar una turbina eólica en el caso de que una velocidad del viento exceda un cierto valor. Sin embargo, esta técnica simple no es fiable en algún caso. Por ejemplo, un sensor de la velocidad del viento podría ser defectuoso de modo que la turbina eólica también se pare en condiciones atmosféricas permitidas. Más aún, la parada completa de una turbina eólica podría ser no ser necesaria en algún caso, cuando una velocidad del viento exceda un cierto valor.

20 El documento US 7.476.985 B2, mencionado al comienzo, opera una turbina eólica en un “modo seguro”, es decir en un modo con producción de potencia reducida. La turbina eólica se opera en el modo seguro en el caso, por ejemplo, de que una velocidad del viento exceda un cierto límite de, por ejemplo 25 m/s, y/u otras variables que están asociadas, por ejemplo, con el viento que exceden también un valor predeterminado.

25 Sin embargo, tal como ha sido identificado por el inventor, la pura determinación de si las variables exceden un valor predeterminado no tiene en cuenta, por ejemplo, que la variable no refleja el “verdadero” estado de la turbina eólica, por ejemplo debido a defecto del sensor. Más aún, no es posible evaluar qué estado operativo tiene la turbina eólica y cómo se desarrolla el estado operativo.

30 La decisión acerca de la detención de una turbina eólica también puede basarse en un evento que se presente, tal como formación de hielo, integridad estructural de piezas de la turbina eólica, ensuciamiento o erosión de las palas del rotor de la turbina eólica, aflojamiento de conexiones, problemas en el control de temperatura, tal como se divulga en el documento EP 2 026 160 A1, mencionado al comienzo. El evento se detecta mediante el análisis de medición de patrones de señal, tal como el ruido emitido por la turbina eólica, la producción de potencia de la turbina eólica, etc.

35 El documento EP 1 531 376 B1 mencionado al comienzo pertenece a un sistema de mantenimiento predictivo que genera alarmas relacionadas con fallos o averías de los componentes mecánicos de una turbina eólica, basándose en un análisis de vibraciones.

45 El presente inventor identificó que, por ejemplo, la disponibilidad de una turbina eólica puede mejorarse cuando se analiza el estado de la turbina eólica y se opera dependiendo de una pluralidad de diferentes escenarios de alarma predefinidos de acuerdo con los que podrían tener lugar daños de la turbina eólica y de acuerdo con los que en la técnica anterior generalmente se detendría la turbina eólica, tal como con altas velocidades de viento.

50 En las realizaciones, por ejemplo, un controlador de una turbina eólica, recibe múltiples señales de sensores, que son indicativas del estado de la turbina eólica. Las múltiples señales de sensores se analizan para determinar si se cumple una condición de alarma específica tal como se ha predefinido en al menos uno de una pluralidad de diferentes escenarios de alarma predefinidos. Una condición de alarma puede ser, por ejemplo, que una señal de sensor cumple con un valor predefinido, tal como una velocidad del viento que está por encima de un límite predefinido. La señal de sensor, que es una velocidad del viento puede determinarse, por ejemplo, a partir de una señal del sensor de velocidad de viento o desde otras señales, a partir de las que puede deducirse una velocidad del viento, tales como la velocidad del rotor, o similares.

55 En el caso de que se cumpla una condición de alarma específica, se procesan “reglas” predefinidas adicionales del escenario de alarma, para el que se cumple la condición de alarma. Dichas reglas pueden comprender, por ejemplo, reglas en la forma de etapas de análisis predefinidas de acuerdo con las que ha de analizarse al menos una de las múltiples señales de sensores. El análisis de la al menos una de las múltiples señales de sensores se realiza de acuerdo con etapas de análisis tal como se predefinen en el escenario de alarma, para el que se cumple la condición de alarma específica, para determinar si la turbina eólica ha de ser puesta en cualquiera de entre un modo seguro predefinido, un modo de detención o un modo de operación continuada.

65 Otras reglas, que se predefinen en el escenario de alarma, comprenden, por ejemplo, reglas para decidir en cuál de los modos debería operarse adicionalmente la turbina eólica y/o reglas que definen el modo seguro en sí, por ejemplo en la forma de una estrategia de control de acuerdo con la que debería operarse la turbina eólica durante el

modo seguro.

5 El modo seguro puede ser un modo en el que la turbina eólica se opera con producción de potencia reducida, pero puede ser también un modo en el que, por ejemplo, se realicen etapas de análisis adicionales, tal como un análisis de fallo del sensor o similar y la operación de la turbina eólica se continúa con una potencia de salida plena. El modo seguro puede comprender también la realización de una operación de enderezado de cables, realización de una operación de refrigeración, supervisión de al menos una señal de sensor para detectar si se ha excedido un valor de umbral, etc.

10 El modo de detención puede realizarse, por ejemplo, mediante el ajuste de las palas a una posición en la que no generan empuje, mediante el ajuste de las palas a una posición de pérdida, y/o el accionamiento de un freno y/u orientando la góndola fuera del viento, etc.

15 En algunas realizaciones la decisión de en qué modo ha de operarse la turbina eólica (modo seguro, de detención o de operación continuada) se toma en un proceso en dos etapas. En una primera etapa se analiza si se cumple una condición de alarma y en una segunda etapa se analiza adicionalmente el estado de la turbina eólica representado por las señales de sensores recibidas de acuerdo con etapas de análisis predefinidas en los escenarios de alarma respectivos. Mediante este análisis adicional es posible reaccionar de una forma flexible a estados de operación de la turbina eólica, que pudieran ser críticos en el sentido de que podrían producir daños. Más aún, en algunas realizaciones, es posible operar la turbina eólica incluso en el modo de operación normal sin reducir potencia, en casos en los que de acuerdo con las soluciones de la técnica anterior la turbina eólica se detiene o se pone en un modo seguro. Más aún, en algunas realizaciones es posible acometer cualquier caso de estado específico de la turbina eólica proporcionando la pluralidad de diferentes escenarios de alarma predefinidos, que podrían en principio conducir a daños y para prever un análisis específico y estrategia de modo seguro para dicho estado específico. De ese modo, en algunas realizaciones puede reducirse el número de paradas de la turbina eólica durante la operación, lo que puede conducir a una reducción del tiempo de parada global y por ello a una maximización de la producción de potencia.

30 En algunas realizaciones, una comparación de una o más señales de sensor, con un umbral solo se usa en la primera etapa para decidir si se cumple una condición de alarma específica, tal como en el caso de la velocidad del viento mencionada anteriormente. En el análisis adicional de la segunda etapa, se analiza adicionalmente el estado de la turbina eólica mediante el análisis adicional de al menos uno de los múltiples sensores. Por ejemplo, en el caso del ejemplo de velocidad del viento, pueden analizarse las cargas sobre las palas y la torre mediante el análisis de señales de sensores respectivos. Basándose en este análisis, es posible analizar adicionalmente el estado de la turbina eólica y deducir, por ejemplo, qué clase de modo seguro puede seleccionarse para operar adicionalmente la turbina eólica y, por ejemplo, con qué potencia de salida reducida es posible un modo de operación seguro justificable con respecto a las cargas esperadas sobre la turbina eólica.

40 En algunas realizaciones, la al menos una de las múltiples señales de sensores que se analizan en la etapa de análisis adicional es diferente de las múltiples señales de sensores que conducen a la determinación de que se cumple una condición de alarma específica. Por ejemplo, en el caso de que una señal de velocidad del viento exceda un valor de umbral, se cumple la condición de alarma del escenario de alarma de alta velocidad del viento. El escenario de alarma de alta velocidad del viento define señales de sensores adicionales, tales como señales de velocidad del rotor y señales de potencia de salida, con las que puede deducirse al menos una estimación de la velocidad del viento.

50 En algunas realizaciones, las etapas de análisis comprenden la determinación de un defecto del sensor. Por ejemplo, mediante la comparación de la velocidad del viento medida directamente con la velocidad del viento estimada, tal como se ha explicado anteriormente, es posible determinar si el sensor de velocidad del viento es defectuoso o no. Típicamente, en las realizaciones, las turbinas eólicas tienen múltiples sensores para la supervisión de la operación y el estado de la turbina eólica, tal como sensores para la medición de la temperatura (ambiente, en la góndola, en el tren de accionamiento, del aceite hidráulico, etc.), velocidad del viento y dirección del viento, ángulo de paso de palas, posición de las palas, etc. Dado que las señales de sensor desde uno de los sensores pueden no ser fiables, por ejemplo en el caso de una avería del sensor, pueden analizarse múltiples señales de sensores desde diferentes sensores para la determinación de la avería en el sensor y/o para el análisis del (verdadero) estado de la turbina eólica.

60 Las etapas de análisis comprenden la simulación de un estado teórico de la turbina eólica. Con referencia al ejemplo de la velocidad del viento, la simulación del estado teórico de la turbina eólica puede basarse en señales de potencia de salida, señales de corriente del generador y señales de velocidad del rotor y modelar los parámetros que caracterizan la turbina eólica. Mediante la simulación de la turbina eólica, basándose en los parámetros del modelo, y usando la potencia de salida, corriente del generador y señales de velocidad del rotor, es posible deducir un estado teórico de la turbina eólica y calcular la velocidad del viento que conduciría a este estado de la turbina eólica.

65 El estado teórico simulado de la turbina eólica se usa para el control de la turbina eólica en el modo seguro. Por ejemplo, en el caso de que un sensor tenga una avería, puede simularse un estado teórico respectivo de la turbina

eólica y basándose en esta simulación puede generarse un valor, que podría en caso contrario deducirse de las señales de sensor del sensor defectuoso. Por ello, en algunas disposiciones es posible operar adicionalmente la turbina eólica en el modo seguro, por ejemplo sin reducir la salida de potencia mediante la sustitución de las señales del sensor defectuosas con los valores o señales deducidos de la simulación del estado teórico de la turbina eólica.

5 En algunas realizaciones, el valor deducido de la simulación de un estado teórico de la turbina eólica se compara con una señal del sensor de la turbina eólica. La comparación puede incluir, por ejemplo, un cálculo de una desviación entre la señal del sensor y el valor. En dichas realizaciones, la decisión de poner la turbina eólica en el modo seguro puede basarse en la desviación calculada entre la señal del sensor y el valor.

10 En algunas realizaciones, el modo seguro depende de un escenario de alarma predefinido. El modo seguro se predefine, por ejemplo, en el escenario de alarma o el escenario de alarma incluye reglas de acuerdo con las que puede generarse un modo seguro. Así, en algunas realizaciones, para cada escenario de alarma puede predefinirse un modo seguro específico, de modo que puedan acometerse los varios diferentes estados operativos críticos de la turbina eólica.

15 En algunas realizaciones, los escenarios de alarma predefinidos incluyen cada uno al menos una información de condición de alarma específica que define, para un resultado de análisis de señales del sensor, que se cumple la condición de alarma, información acerca de las etapas de análisis, información de en qué caso ha de ponerse la turbina eólica en modo seguro, en modo de detención o en modo de operación continuada, e información acerca del modo seguro a ser realizado por la turbina eólica. Por ello, como se ha mencionado anteriormente, los escenarios de alarma pueden comprender una serie completa de reglas, de acuerdo con las que puede manejarse una pluralidad de diferentes situaciones críticas, que pudieran ocurrir durante la operación de la turbina eólica, sin tener que detener la turbina eólica.

20 En algunas realizaciones, los múltiples escenarios de alarma predefinidos incluyen al menos uno de entre: alta temperatura ambiente de la turbina eólica, alta temperatura en el generador de la turbina eólica, alta temperatura en el tren de accionamiento de la turbina eólica, parada con alta velocidad del viento, error de desviación en el paso de palas de la turbina eólica, error en todos los sensores de viento de la turbina eólica, error en la posición del paso de palas de la turbina eólica, alta temperatura en un sistema hidráulico de la turbina eólica.

25 En algunas realizaciones, las múltiples señales de sensores incluyen señales que son indicativas de al menos una de entre: velocidad del viento, dirección del viento, temperatura ambiente, temperatura del generador de la turbina eólica, temperatura del tren de accionamiento de la turbina eólica, temperatura del sistema hidráulico de la turbina eólica, posición de palas, tensión de red, número de giros del cable, potencia de salida, temperatura de la góndola, error en el relé térmico, cargas en la torre, vibraciones de la torre, velocidad del rotor, ángulo de paso, cargas de las palas, capacidad de refrigeración, presión de aceite, corriente del generador.

30 Las múltiples señales del sensor o información deducida de las mismas pueden recibirse también desde otras turbinas eólicas, que están, por ejemplo, adyacentes a la turbina eólica, que debería operarse. Por ello, en algunas realizaciones, la información acerca del estado operativo de al menos una turbina eólica vecina puede usarse para control u operación de la turbina eólica en consideración. Por ejemplo, las señales de sensores defectuosos, tales como señales de sensores de velocidad del viento, pueden sustituirse por las señales de sensores de velocidad del viento respectivas de la turbina eólica vecina que se supone son al menos similares a los defectuosos. En el caso de la velocidad del viento, se supone que la velocidad del viento medida en la turbina eólica vecina es similar a la velocidad del viento de la turbina eólica con el sensor defectuoso.

35 El término "señal", tal como se usa en el presente documento, puede ser una señal que sea, por ejemplo, producida directamente por un sensor o que pueda ser una señal que se base en una señal de sensor producida directamente por un sensor.

40 Mediante el uso de una pluralidad de escenarios de alarma diferentes predefinidos y múltiples señales de sensor, es posible acometer muchas situaciones de alarma que pueden tener lugar durante la operación de una turbina eólica y proporcionar para cada situación de alarma predefinida estrategias de control o modo seguro que se definen en los escenarios de alarma respectivos. En algunas realizaciones, los escenarios de alarma pueden tener diferentes prioridades que dependen, por ejemplo, de la intensidad del daño que pudiera esperarse debido al aviso de defecto específico o, por ejemplo, si se incumplen requisitos que han de satisfacerse necesariamente, tal como un requisito de una red a la que se conecta la turbina eólica y que solo permite que la corriente suministrada al interior de la red tenga una cierta tensión.

45 De acuerdo con un escenario de alarma específico, puede generarse una señal de alarma específica. La señal de alarma puede transferirse, por ejemplo, a un control remoto que indique al personal que está presente una situación de alarma respectiva y, por ejemplo, que ha de hacerse mantenimiento de la turbina eólica.

50 Algunas realizaciones se refieren a una turbina eólica que está adaptada para realizar el (los) método(s) anteriormente descrito(s). La turbina eólica comprende partes típicas, tales como una torre, una góndola, un rotor

con al menos una pala, un control para el control de la operación de una turbina eólica. El control incluye una memoria para almacenamiento de múltiples escenarios de alarma predefinidos; y se conecta a múltiples sensores (que pueden ser parte de dicha turbina eólica y/o incluso otras turbinas eólicas) y que se disponen para producir señales de sensores que son indicativas de un estado operativo de la turbina eólica (o de otras turbinas eólicas). El control analiza las múltiples señales de sensores para determinar si se cumple una condición de alarma específica tal como se ha predefinido en uno de la pluralidad de diferentes escenarios de alarma predefinidos. El control analiza adicionalmente al menos una de las múltiples señales de sensores de acuerdo con las etapas de análisis, tal como se predefine en el escenario de alarma para el que se cumple la condición de alarma específica, para determinar si la turbina eólica ha de ser puesta en cualquiera de entre un modo seguro predefinido, un modo de detención o un modo de operación continuado como se ha explicado anteriormente.

En algunas realizaciones, los múltiples sensores incluyen al menos uno de entre: sensor de velocidad del viento, sensor de temperatura de la góndola, sensor de posición de palas, sensor de vibración de la torre, sensor de temperatura del aceite hidráulico, sensor de temperatura ambiente, sensor de temperatura del generador, sensor de velocidad del rotor, sensor de dirección del viento, sensor de tensión del generador, sensor de giros del cable, sensor de temperatura del tren de accionamiento, cargas sobre el sensor de la torre, sensor de capacidad de refrigeración, sensor de presión de aceite, sensor de corriente del generador u otros sensores que son conocidos por el experto en la materia y que se usan para la supervisión y medición del estado de una turbina eólica.

En algunas realizaciones, la turbina eólica retrocede a un modo de operación seguro, cuando es aplicable y necesario, en lugar de pararse cuando tiene lugar un defecto y a continuación permanece en este modo seguro hasta que por ejemplo, se ha clarificado la razón de este error. Después de la clarificación, vuelve, por ejemplo, a la operación normal. Naturalmente, las averías críticas que pudieran conducir a daños graves dan como resultado una detención de la turbina eólica, en algunas realizaciones. En algunas realizaciones, la turbina eólica usa una estrategia de control, durante el modo seguro.

Volviendo a la Fig. 1, se muestra en ella un ejemplo de una estrategia de control realizada durante una operación de modo seguro con finalidades de ilustración. Una variable de proceso de una turbina eólica 19 (Fig. 3), tal como una señal de velocidad del viento, varía con el tiempo y la curva resultante se indica con 1. Existen dos umbrales para la variable de proceso. Un primer umbral 2 en el que se genera una alarma y un segundo umbral 3 en el que se para la turbina. Como puede verse por la Fig. 1, la variable del proceso incrementa su valor con el tiempo. La variable del proceso se analiza y en un punto 4 se cumple una condición de alarma específica de un escenario de alarma 30 específico (Fig. 5). Se realiza en 5 un análisis adicional o diagnóstico de las señales del sensor. El análisis del sensor se define en 4 en un escenario de alarma específico para el que se ha cumplido la condición de alarma específica. Basándose en el análisis de las señales del sensor, tal como se define en las etapas de análisis del escenario de alarma 30, se selecciona en 6 una estrategia de control y la turbina eólica 19 se pone en un modo de operación seguro en 6.

En el punto 6 la curva 1 muestra dos distribuciones diferentes. La distribución de línea discontinua 10 muestra el desarrollo adicional de la variable del proceso bajo el control de tolerancia a defectos definido en el escenario de alarma. La estrategia de control durante el modo seguro permite operar adicionalmente la turbina eólica, por ejemplo, con una producción de potencia reducida, de modo que una variable de proceso defectuosa permanezca bajo el primer y segundo umbral 2, 3.

La distribución de línea continua de la curva 1 después del punto de decisión 6 muestra cómo variaría la variable del proceso en el caso de que la turbina eólica no se pusiera en el modo seguro. En este caso, la variable del proceso excedería el umbral 2 en 9 en el que se genera una alarma y también el segundo umbral 3 en 11 en el que la turbina se detendría, tal como se hace, por ejemplo, de acuerdo con la técnica anterior.

Volviendo a las Figs. 2 y 3, se ilustra en ellas una realización de un método para la operación de una turbina eólica 19 (Fig. 3), como se describe como ejemplo en conexión con la Fig. 1 anterior. El método se realiza, por ejemplo, mediante un control 24 de la turbina eólica 19. La turbina eólica 19 tiene una torre 23 sobre la que se monta una góndola 22. La góndola 22 puede girarse alrededor de su eje vertical. Más aún, se coloca un rotor 21 con tres palas 20 en la góndola 22, impulsando un tren de accionamiento, un engranaje y un generador para la generación de corriente (no mostrado), tal como es conocido para un experto en la materia.

El control 24 se sitúa en la góndola 22 y recibe señales de sensor desde múltiples sensores. En realizaciones alternativas, el control 24 puede localizarse en la torre o fuera de la turbina eólica 19.

De modo ejemplar, en la Fig. 3 se muestran un sensor de velocidad del viento 25a, un sensor de temperatura de la góndola 25b, un sensor de posición de palas 25c y un sensor de vibración de la torre 25d, que proporcionan señales de sensores al control 24. Típicamente, como también se ha mencionado anteriormente, se localizan muchos más sensores en la turbina eólica 19 para supervisar y medir el estado de una turbina eólica.

Para la operación de la turbina eólica 19, el control 24 realiza el método tal como se ha ilustrado en la Fig. 2. En 12, se inicia el método y el control 24 recibe múltiples señales de sensor, por ejemplo desde los sensores 25a-d, que

son indicativas del estado de la turbina eólica. Dado que el control 24 conoce también donde está localizado un sensor respectivo desde el que recibe señales de sensor respectivas, el control 24 tiene una información de localización y una información física acerca de la turbina eólica 19, cuando recibe una señal de sensor específica, tal como la temperatura en la góndola 22 desde el sensor de temperatura de góndola 25b, una velocidad del viento actual en la parte superior de la góndola 22 desde el sensor de velocidad del viento 25a, una posición de la pala para una pala específica 20 desde el sensor de posición de la pala 25c y señales indicativas de vibraciones de la torre desde el sensor de vibración de la torre 25d.

El control 24, véase también la Fig. 4, recibe las múltiples señales de sensores, tal como se entregan desde los sensores 25a-d, a través de una línea de entrada 28. En 14, el control 24 analiza las señales de sensores recibidas y determina si se cumple una condición de alarma específica, tal como se ha predefinido en uno de una pluralidad de escenarios de alarma predefinidos.

Las señales de sensores pueden recibirse desde un sensor o múltiples sensores, tal como una matriz de sensores, o un grupo de sensores, que proporcionan señales que son indicativas de una característica específica del estado de la turbina eólica, tal como una temperatura en una localización específica (góndola, ambiente, aceite hidráulico), una velocidad/dirección del viento, vibraciones de la torre, posición de la pala, posición de la góndola, etc.

Los escenarios de alarma predefinidos se almacenan en una memoria 26 del control 24. Un escenario de alarma 30 de ejemplo se representa en la Fig. 5. El escenario de alarma 30 incluye información, que puede formatearse, por ejemplo en campos de datos 31 a 35.

Típicamente, un escenario de alarma incluye información 31 acerca del tipo para el que se proporciona la situación crítica del escenario de alarma, tal como un escenario de alarma de alta velocidad de viento, escenario de alarma de alta temperatura en el generador, etc. Más aún, cada escenario de alarma específico 30 tiene una información de condición de alarma 32 específica, que predefine qué condiciones deben satisfacerse por las señales de sensor analizadas de modo que sea relevante el escenario de alarma específico. Cada escenario de alarma específico 30 tiene una información de la etapa de análisis 33, que predefine qué etapas de análisis han de realizarse y de acuerdo con las que las señales de sensores recibidas se analizan adicionalmente. Cada escenario de alarma específico 30 tiene también información 34 de en qué caso la turbina eólica debe ponerse en el modo seguro, modo de detención o en modo de operación continua. Adicionalmente, el escenario de alarma 30 tiene información 35 acerca del modo seguro a ser realizado por la turbina eólica, tal como información de estrategia de control (información de control de defectos), información acerca de la reducción de potencia, etc. A continuación, se describen con más detalle diez escenarios de alarma predefinidos de ejemplo.

Por ello, cuando se analizan las múltiples señales de sensores recibidas, el control 24 pasa a través de los escenarios de alarma 30 almacenados en la memoria 26 y determina si se cumple una condición de alarma específica, por ejemplo, mediante la comparación de señales de sensor desde un sensor o desde un grupo de sensores con un umbral predefinido, tal como un umbral de velocidad del viento, definido en una condición de alarma específica 32 respectiva.

En caso de que se cumpla una condición de alarma específica 32, el control 24 selecciona y procesa adicionalmente el escenario de alarma respectivo 30, para el que se cumple la condición de alarma 32.

En 15, el control 24 analiza adicionalmente al menos una de las señales de sensores recibidas de acuerdo con la información de etapas de análisis 33, tal como se ha definido en el escenario de alarma actualmente en proceso. La información de etapas de análisis 33 define, por ejemplo, qué señales de sensor deberían analizarse, da reglas para la simulación de un estado teórico de la turbina eólica, define un análisis de sensor defectuoso, etc., tal como se ha descrito anteriormente.

El análisis de sensor defectuoso puede realizarse, por ejemplo, comparando las señales del sensor desde un sensor a ser comprobado, con otras señales de sensor o con un valor calculado, que se base en una simulación teórica del estado de la turbina eólica 19 y/o un valor deducido de otras señales de sensores, que sean diferentes de las señales de sensores usadas para la decisión de que se cumple la condición de alarma específica.

Por ello, el control 24 compara en algunas realizaciones señales de sensores que son directamente indicativas de una característica de la turbina eólica 19, con señales, que son indirectamente indicativas de una característica de la turbina eólica, tal como la producción de potencia, velocidad del rotor o similares, o que se simulan.

Más aún, en algunas realizaciones, el control 24 analiza, basándose en la información de etapas de análisis 33, señales de sensores que son indicativas de una primera característica del estado operativo de la turbina eólica 19, tal como la velocidad del viento y/o que cumplen la condición de alarma, y señales de sensores que son indicativas de una segunda característica del estado operativo de la turbina eólica 19, tal como cargas en la torre 23, para obtener más información acerca del estado de la turbina eólica 19.

Después de que el control 24 haya analizado las señales de sensores de acuerdo con la información de etapas de

análisis 33, decide en 16, basándose en el resultado del análisis, si la turbina eólica 19 debería ponerse en un modo seguro, si puede continuarse la operación normal o si la turbina eólica 19 debería detenerse. Las reglas de en qué caso la turbina eólica 19 debe ponerse en el modo seguro se definen en el campo de información 34 del escenario de alarma 30. También el tipo de modo seguro, que incluye como debería operarse la turbina eólica, si se supervisan señales de sensores adicionales, qué estrategia de control debería realizarse pueden definirse en la información 35 acerca del modo seguro a ser realizado por la turbina eólica 19.

El control 24 produce la salida de una señal de control a través de una línea 29 de acuerdo con la decisión tomada en 16, de modo que la turbina eólica 19 se pone en cualquiera de un modo seguro, un modo de operación normal o un modo de detención.

La señal de control incluye información del modo de control adicional, por ejemplo acerca del modo seguro, haciendo que la turbina eólica 19 se opere con salida de potencia reducida, etc. La cantidad de reducción en la salida de potencia puede definirse también en el escenario de alarma 30, por ejemplo en el campo 35, o se determina, por ejemplo, basándose en mediciones de carga y/o cálculos/simulaciones, que se esperan en un escenario de alarma específico con un modo seguro específico.

El control 24 también puede producir una señal de alarma través de la línea 29, que es indicativa, por ejemplo, de un escenario de alarmas específico 30 que está actualmente en proceso. Más aún, la señal de alarma u otra señal, que es producida por el control 24, puede incluir información de servicio, información de defectos de sensores u otra información deducida cuando se procesa un escenario de alarma específico 30.

La información de servicio puede usarse para decidir si y/o cuándo la turbina eólica ha de mantenerse. De ese modo, pueden disminuirse los costes de servicio en algunas realizaciones. Más aún, el control 24 puede producir una señal residual que indica, por ejemplo, una desviación de las señales del sensor medidas y señales de otros sensores y/o que se basan en una simulación de la turbina eólica. La señal residual puede usarse también para investigación y desarrollo.

Las señales producidas por el control 24 pueden transferirse también, por ejemplo, a un control remoto para análisis adicional del estado de la turbina eólica, para ser usada en proyectos de investigación, por problemas de servicio, etc.

El control 24 continúa generalmente la operación según se indica en 18 después de que se haya realizado un escenario de alarma predefinido; en caso contrario, la operación finaliza en 17.

En lo que sigue, se describen con más detalle ocho escenarios de alarma específicos, que se usan al menos en algunas realizaciones.

Escenario de alarma de alta temperatura ambiente

Este escenario de alarma se activa en el caso de que se detecte una señal de sensor de alta temperatura ambiente resultante de una medición de la temperatura ambiente.

La finalidad del escenario de alarma de alta temperatura ambiente es disminuir el número de paradas de la turbina eólica cuando la temperatura ambiente excede un cierto límite de temperatura.

Para analizar el estado de la turbina eólica se comprueban la temperatura ambiente, la temperatura de la góndola y la producción de potencia mediante el análisis de señales respectivas de sensores que representan la temperatura ambiente, la temperatura de la góndola y la producción de potencia.

Las diferentes mediciones de sensores y las señales respectivas de sensores se usan para fusión de sensores y se genera una estimación de la temperatura del generador. Basándose en este análisis se decide si está presente un defecto en el sensor y se genera una señal de salida respectiva, que indica si está presente un defecto del sensor o que la temperatura ambiente está realmente incrementándose.

En el caso de que esté presente un defecto del sensor o que la temperatura ambiente esté incrementándose realmente, la turbina eólica se pone en modo de operación seguro en el que se reduce la producción de potencia. El modo seguro es válido hasta que la temperatura ambiente disminuye a un valor permisible. En este caso, la turbina eólica se conmuta de vuelta a un modo de operación normal con producción de potencia normal. En el caso de que la temperatura aún se incremente, se para la turbina eólica.

En algunas realizaciones, se excede el intervalo de temperatura de los componentes, lo que puede dar como resultado la reducción del rendimiento y pérdida de funcionalidades. Más aún, en algunas realizaciones se registra la temperatura ambiente. La información de temperatura puede usarse, por ejemplo, para análisis de la carga de temperatura sobre los componentes de la turbina eólica, tales como el generador, etc.

De acuerdo con el escenario de alarma de alta temperatura ambiente, se produce la salida de una señal de alarma e información del modo de control. La información de control se usa para reducir la producción de potencia de la turbina eólica.

5 Escenario de alarma de alta temperatura en el generador

La finalidad del escenario de alarma de alta temperatura en el generador es disminuir el número de paradas de la turbina eólica cuando se incrementa la temperatura del generador por encima de un valor de umbral dado.

10 El escenario de alarma de alta temperatura en el generador se activa, por ejemplo, en el caso de que la temperatura del generador medida exceda un cierto umbral.

15 Se usan señales de sensores de entrada: señales de error del relé térmico, señales de temperatura del generador, señales de potencia, señales de temperatura de la góndola y señales de temperatura ambiente. En algunas realizaciones, por ejemplo, también puede usarse al menos una de entre las señales de corriente del generador, señales de capacidad de refrigeración o similares además de o en un lugar de al menos una de las señales de sensores de entrada anteriormente mencionadas.

20 Se analizan las señales de sensores que indican la temperatura ambiente, la temperatura de la góndola, la temperatura del generador y la producción de potencia y se combinan las diferentes mediciones de sensores para realizar una fusión de sensores y para de ese modo obtener una estimación de la temperatura de generador "real". En otras realizaciones, solo se analizan algunas de estas señales de sensores y/o se analizan señales de sensores adicionales, tal como se ha mencionado anteriormente.

25 Basándose en el resultado del análisis, puede generarse una señal de control, que indica o bien un defecto del sensor o bien un incremento real en la temperatura del generador.

30 En algunas realizaciones, la turbina eólica se pone en un modo seguro en el que se reduce la potencia en el caso de un incremento real en la temperatura del generador, basándose en una evaluación del punto de trabajo de la turbina eólica. Para esta evaluación, puede usarse una curva de potencia-corriente del generador.

Más aún, es posible poner la turbina eólica en un modo seguro en el que la producción de potencia se reduce para disminuir la temperatura de los componentes de potencia.

35 La temperatura del generador se supervisa adicionalmente durante la operación en modo seguro y en el caso de que aún se incremente la temperatura del generador se para la turbina eólica.

40 En algunas realizaciones, ha de supervisarse el generador, dado que la operación del generador a altas temperaturas podría provocar daños en el generador y, más aún, podría reducirse la vida útil del aislamiento.

De acuerdo con el escenario de alarma de alta temperatura en el generador se produce la salida de una señal de alarma e información del modo de control que incluye información acerca de la potencia disminuida.

45 Escenario de alarma de alta temperatura en el tren de accionamiento

La finalidad del escenario de alarma de alta temperatura en el tren de accionamiento es disminuir el número de paradas de la turbina eólica en el caso de que se incremente la temperatura del tren de accionamiento por encima de un cierto valor de umbral.

50 Como señales de entrada se usan: señales de error del relé térmico, señales de temperatura del generador, señales de potencia, señales de temperatura de la góndola y señales de temperatura ambiente. En otras realizaciones, por ejemplo también se usa al menos una de entre señales de temperatura de cojinetes, señales de velocidad del rotor y señales de capacidad de refrigeración o similares además de o en lugar de al menos una de estas señales de entrada.

55 Las señales de temperatura ambiente y temperatura de la góndola se usan para analizar la situación de la temperatura. Más aún, se comprueba el ensuciamiento del refrigerador de aceite y si el refrigerador de aceite está fijado para funcionamiento automático o si está desconectado. Se analizan diferentes señales de medición de sensores y se realiza la fusión de sensores para obtener una estimación de la temperatura del tren de accionamiento. En otras realizaciones, solo se analizan algunas de estas señales de sensores y/o se analizan señales de sensores adicionales, tal como se ha mencionado anteriormente.

60 Se genera una señal de control que lleva información de defectos, que puede usarse para indicar un defecto del sensor o un incremento real en la temperatura del tren de accionamiento.

65 Dependiendo del resultado del análisis, la turbina eólica se pone en un modo seguro, en el que se usan las

siguientes estrategias de control:

5 Cuando la temperatura de la góndola es baja, por ejemplo $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, se controlan los ventiladores de refrigeración, por ejemplo se arrancan.

En el caso de que la temperatura de la góndola sea alta, por ejemplo $> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, y/o se detecten enfriadores sucios, la potencia de salida y la velocidad del tren de accionamiento se reducen y se selecciona una estrategia de pausa, que se basa, por ejemplo, en el tiempo de operación dentro del que no se esperan daños (graves).

10 Si la temperatura del tren de accionamiento aún se incrementa, se para la turbina eólica.

15 En algunas realizaciones, la operación de la turbina eólica puede continuarse en una escala a corto plazo, tal como en 10-30 minutos, sin ningún daño en el tren de accionamiento. Sin embargo, en algunas realizaciones, se espera oxidación en una escala a largo plazo para el aceite de engranajes, un espesor de la película de aceite reducido, incremento del desgaste y reducción del tiempo de vida útil por fatiga. Estos efectos pueden tenerse en cuenta, por ejemplo, en una planificación de mantenimiento.

20 En algunas realizaciones, se realiza adicionalmente una medición de la temperatura en el sistema de aceite de retorno y se tiene en cuenta la señal respectiva de sensores cuando se analiza el estado operativo de la turbina eólica.

25 De acuerdo con el escenario de alarma de alta temperatura en el tren de accionamiento se produce la salida de una señal de alarma e información del modo de control que incluye información acerca de la potencia de salida disminuida.

Escenario de alarma de alta velocidad del viento

30 La finalidad del escenario de alarma de alta velocidad del viento es disminuir el número de paradas de la turbina eólica cuando la velocidad del viento está por encima de un umbral crítico, también llamada velocidad del viento de corte.

35 Como señales de entrada se usan: señales de velocidad del viento, mediciones (estimaciones) de carga con relación a la torre, señales de vibración de la torre, señales de potencia de salida y señales de velocidad del rotor. En otras realizaciones, por ejemplo, se usan también al menos una de las señales de carga de palas, señales de ángulo de paso, y densidad del aire ambiente o similares además de o en lugar de al menos una de estas señales de entrada.

40 Durante el análisis del estado de la turbina eólica se comprueban las mediciones de la velocidad del viento. En algunas realizaciones se usa un estimador del viento para verificar que no hay defecto en la medición del viento. En otras realizaciones, se analizan algunas de estas señales de sensores y/o se analizan señales de sensores adicionales, tal como se ha mencionado anteriormente.

Durante el modo seguro, se comprueba el nivel de carga de la turbina eólica y las vibraciones de la torre para supervisar la estrategia de operación.

45 En el modo seguro, se usan las siguientes estrategias de control:

Se analizan la velocidad del viento y las cargas. Para cada subsistema que está afectado por altas velocidades del viento se analiza si es permisible una operación en modo seguro.

50 En el caso de que se permita para los subsistemas una operación en modo seguro, la producción de potencia se disminuye, por ejemplo hasta un valor por debajo del 50 %, y los giros por minuto del rotor se reducen en etapas en función de la medición de la velocidad del viento y/o la salida del resultado de velocidad del viento por parte del estimador de velocidad del viento.

55 En algunas realizaciones, este modo seguro permite la operación continuada de la turbina eólica a velocidades del viento por encima de 25 m/s mediante la disminución de la potencia de salida y/o los giros por minuto del rotor en consecuencia. La disminución de la potencia de salida puede realizarse continuamente y/o en saltos discretos.

60 En algunas realizaciones, se supervisan las cargas sobre la torre y las vibraciones de la torre, para parar la turbina eólica en el caso de que se excedan los valores de umbral permisibles. Esta supervisión es útil en algunas realizaciones para detección de cargas de fatiga extremas y grandes, especialmente en operaciones de inclinación, guiñada y agitación.

65 En algunas realizaciones, se usan sensores/estimadores de carga adicionales y/o acelerómetros en la torre, las palas del rotor, tren de accionamiento etc., y se tienen en cuenta las señales de los sensores para análisis del estado operativo de la turbina eólica.

De acuerdo con el escenario de alarma de alta velocidad del viento se produce la salida de una señal de alarma e información del modo de control que incluye información acerca de la producción de potencia disminuida.

Escenario de alarma de error de desviación del paso

5 La finalidad del escenario de alarma de error en la desviación del paso es disminuir el número de paradas de la turbina eólica cuando hay una desviación detectada en el sistema de paso.

Se usan las señales de medición del ángulo de paso como señales de entrada.

10 Para análisis del estado operativo, se realiza una secuencia de comprobación del sistema tanto de sensores del ángulo de paso como de accionadores del paso, es decir una comprobación de la funcionalidad de los sensores. Se comprueba, por ejemplo, si está funcionando una válvula proporcional del sistema hidráulico y los sensores de posición. Si están funcionando apropiadamente, la turbina eólica se conmuta al modo seguro.

15 En el modo seguro pueden usarse las siguientes estrategias de control en algunas realizaciones:

Se controla el ángulo de paso, basándose en las cargas, por ejemplo de las palas, y no en errores de posición. Por ello, se controlan para cada pala las cargas de inclinación y guiñada y de ese modo se corrige el ángulo de paso.

20 Se realiza una estimación de la carga para ajustar los límites de alarma, es decir, valores de umbral para el ángulo de paso en el que se usa el escenario de alarma.

25 Más aún, en algunas realizaciones, se usa una estrategia que predice tasas de paso alto esperadas en el futuro, es decir, durante la operación en modo seguro.

Adicionalmente, en algunas realizaciones se utiliza un controlador alrededor del punto de trabajo de la turbina eólica y las desviaciones de paso respectivas.

30 En algunas realizaciones, las consecuencias de la operación continua en función del tiempo podrían ser cargas incrementadas, en una escala a corto plazo podría tener lugar un incremento de las cargas extremas y en una escala a largo plazo podría tener lugar un incremento de las cargas de fatiga. Estos problemas pueden acometerse, por ejemplo, mediante una planificación de mantenimiento respectiva.

35 En algunas realizaciones, se usa un robusto sistema de sensores de carga que es fiable y preciso para reducir el riesgo de errores de desviación del paso y situaciones de sobrevelocidad así como para reducir los desequilibrios aerodinámicos que podrían conducir a operaciones de inclinación y guiñada extremas.

40 De acuerdo con el escenario de alarma de error en la desviación del paso se produce la salida de una señal de alarma e información del modo de control que incluye referencias de paso.

Escenario de alarma de error en todos los sensores de viento

45 La finalidad del escenario de alarma de error en todos los sensores de viento es disminuir el número de paradas de la turbina eólica cuando hay un error en todos los sensores de viento.

50 Como señales de entrada se usan: señales de velocidad del viento, señales de dirección del viento, señales de estimación del viento, señales de velocidad del generador, señales de velocidad del rotor y señales de potencia de salida. En otras realizaciones, por ejemplo, también se usa al menos una de entre señales de carga de palas, señales de ángulo de paso y señales de densidad del aire ambiente o similares además de o en lugar de al menos una de estas señales de entrada.

55 Durante la operación del análisis del estado, se lleva a cabo una secuencia de comprobación del sistema sobre los sensores de viento, es decir velocidad del viento y sensores de dirección del viento. En otra realización, solo se analizan algunas de estas señales de sensores y/o se analizan señales de sensores adicionales, tal como se ha mencionado anteriormente.

En el caso de que se detecten errores en los sensores de viento, la turbina eólica se conmuta al modo de seguro.

60 En algunas realizaciones, durante el modo seguro se realizan las siguientes estrategias de control:

Para determinar la velocidad del viento se usa un estimador del viento. Adicionalmente, pueden usarse mediciones de carga para evaluar errores de guiñada críticos y velocidades de viento críticas.

65 Más aún, en algunas realizaciones se usan tecnologías alternativas de medición de viento, por ejemplo un anemómetro de copa (por ejemplo, una veleta) y un sensor ultrasónico. Estos sensores de viento se soportan entre

sí durante el funcionamiento, dado que uno de los sensores podría tener un mejor rendimiento en una condición de operación específica que el otro. Por ejemplo, el sensor ultrasónico es capaz de reaccionar más rápido con condiciones de viento cambiantes que un anemómetro. Más aún, el sensor ultrasónico no es sensible a la formación de hielo como un anemómetro de copa.

5 En el caso de que la turbina eólica se localice próxima a otra turbina eólica, como es el caso en un parque eólico, puede hacerse uso de mediciones de sensores de viento de otra turbina eólica, que esté, por ejemplo, en la vecindad. En dichas realizaciones, las turbinas eólicas pueden comunicarse entre sí, por ejemplo directa o indirectamente sobre un control central (del parque eólico).

10 En algunas realizaciones, podrían tener lugar situaciones de alta velocidad del viento y errores de guiñada extremos y en tales casos la turbina eólica puede pararse.

15 Más aún, una curva de salida de velocidad de rotor de potencia predefinida puede estar fuera de un intervalo de operación normal y, por ello, en algunas realizaciones, la curva de salida de velocidad de rotor de potencia se utiliza también para la operación en modo seguro de acuerdo con el escenario de alarma de error en todos los sensores de viento.

20 De acuerdo con el escenario de alarma de error en todos los sensores de viento se produce una señal de alarma e información del modo de control incluyendo la estimación del viento.

Escenario de alarma de error en la posición del paso

25 La finalidad del escenario de alarma de error en la posición del paso de palas es disminuir el número de paradas de la turbina eólica cuando es defectuosa la medición de la posición del paso.

Las señales de medición del ángulo de paso se usan como señales del sensor de entrada.

30 Durante el análisis del estado de la turbina eólica se realiza una secuencia de comprobaciones sobre la función del sensor de posición del paso.

35 En el caso de que el sensor de posición del paso sea defectuoso, la turbina eólica se pone en un modo seguro, por ejemplo con una producción de potencia disminuida. En el caso de que el (los) sensor(es) de posición del paso esté(n) funcionando, la turbina eólica se pone en un modo seguro. En este caso, se usan las siguientes estrategias de control en el modo seguro:

40 En algunas realizaciones, las diferentes señales de medición del sensor de posición del paso y otras señales de sensores, tales como señales del sensor del ángulo de paso, se integran y se realiza una fusión de sensores para obtener una estimación de la posición de paso real.

En algunas realizaciones, una consecuencia de la operación continuada en función del tiempo con el error de posición del paso podría consistir en elevadas cargas en la turbina eólica, que se tienen en cuenta, por ejemplo, cuando se realiza el mantenimiento de la turbina eólica.

45 De acuerdo con el escenario de alarma de error en la posición del paso se produce una señal de alarma e información del modo de control incluyendo información del ángulo de paso.

Escenario de alarma de alta temperatura en el sistema hidráulico

50 La finalidad del escenario de alarma de alta temperatura en el sistema hidráulico es disminuir el número de paradas de la turbina cuando la temperatura del sistema hidráulico se incrementa por encima de un valor de umbral predefinido. El sistema hidráulico de la turbina eólica se usa típicamente para el control de paso de las palas.

55 Como señales de entrada se usan: señales de temperatura hidráulica, señales de temperatura de la góndola y señales de temperatura ambiente. En otras realizaciones, por ejemplo, también se usa al menos una de entre señales de actividad del paso, señales de presión del aceite hidráulico y señales de capacidad de refrigeración o similares además de o en lugar de al menos una de estas señales de entrada.

60 Para analizar el estado de la turbina eólica, se realiza una secuencia de comprobaciones del sistema. La turbina eólica puede ponerse en un modo seguro cuando el control de paso está funcionando sobre valores estimados o puede funcionar con una estrategia de control de paso disminuida. Los valores estimados pueden comprender, por ejemplo, una estimación de la temperatura del sistema hidráulico. En algunas realizaciones, la estimación de la temperatura del sistema hidráulico tiene en cuenta variaciones de paso y la presión del aceite hidráulico. Por ejemplo, en casos de frecuentes variaciones del paso y elevadas presiones del aceite hidráulico se espera una temperatura del sistema hidráulico más alta que en casos de raras variaciones del paso y presión de aceite hidráulico normal. Por ello, a partir de la frecuencia de las variaciones del paso y de la presión del aceite hidráulico,

por ejemplo en combinación con al menos uno de los valores de temperatura anteriormente mencionados (temperatura hidráulica, de góndola y ambiente) puede deducirse una estimación de la temperatura del sistema hidráulico. En otras realizaciones, solo se analizan algunas de estas señales de sensores y/o se analizan señales de sensores adicionales, tal como se ha mencionado anteriormente.

5 Si se detecta que la frecuencia de variación del paso es baja y que la presión del aceite hidráulico está en un intervalo normal, se supone un defecto del sensor de temperatura hidráulica en algunas realizaciones y el control de paso se opera adicionalmente de modo normal. En el caso de que la presión del aceite hidráulico sea baja y la
10 variación del paso frecuente, el control de paso puede reducir la frecuencia de variación del paso para reducir la temperatura hidráulica y para evitar la parada de la turbina eólica.

En otras realizaciones, se supervisa la temperatura hidráulica estimada y la turbina eólica se para solamente cuando la temperatura hidráulica estimada es mayor que un segundo valor de umbral.

15 En algunas realizaciones, una consecuencia de la operación continuada en función del tiempo de acuerdo con el escenario de alarma de alta temperatura en el sistema hidráulico podría ser la destrucción del aceite. Por ello, en algunas realizaciones, se tiene en cuenta el aceite hidráulico cuando se realiza el mantenimiento de la turbina eólica.

20 De acuerdo con el escenario de alarma de alta temperatura en el sistema hidráulico se produce una señal de alarma e información del modo de control que incluye información acerca de la temperatura del aceite hidráulico.

Como es evidente para los expertos en la materia, los escenarios de alarma anteriores son solo de ejemplo y pueden usarse también otros escenarios de alarma dentro del alcance de la presente invención tal como se expone en las reivindicaciones.

25

REIVINDICACIONES

1. Un método de operación de una turbina eólica (19), que comprende las etapas de:

5 recibir (13) múltiples señales de sensores que son indicativas del estado de la turbina eólica;
 analizar (14) las múltiples señales de sensores para determinar si se cumple una condición de alarma específica,
 tal como se predefine en uno de una pluralidad de escenarios de alarma predefinidos (30) diferentes;
 analizar adicionalmente (15) al menos una de las múltiples señales de sensores de acuerdo con etapas de
 10 análisis, tal como se predefine en el escenario de alarma (30) para el que se cumple la condición de alarma
 específica, para determinar (16) si la turbina eólica (19) ha de ponerse en cualquiera de entre un modo seguro
 predefinido, un modo de detención o un modo de un operación continuada;
 en el que las etapas de análisis comprenden la simulación de un estado teórico de la turbina eólica (19),
 comprendiendo adicionalmente el método la etapa de
 15 controlar la turbina eólica (19) en el modo seguro, basándose en el estado teórico simulado de la turbina eólica
 (19), en el que el modo seguro hace que la turbina eólica (19) se opere con una salida de potencia reducida.

2. El método de la reivindicación 1, en el que la al menos una de las múltiples señales de sensores que se analizan
 en la etapa de análisis adicional (15) es diferente de las señales de sensores anteriores para las que se determina
 que se cumple la condición de alarma específica.

3. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que las etapas de análisis comprenden la
 determinación de un defecto del sensor.

4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el modo seguro depende del
 25 escenario de alarma predefinido.

5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los escenarios de alarma predefinidos
 (30) incluyen cada uno al menos información de la condición de alarma específica (31) que define para un resultado
 del análisis de señales del sensor que se cumple la condición de alarma, información (32) acerca de las etapas de
 30 análisis, información (33) de en qué casos la turbina eólica ha de ponerse en el modo seguro, modo de detención o
 modo de operación continuada, e información (34) acerca del modo seguro a ser realizado por la turbina eólica (19).

6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que los múltiples escenarios de alarma
 predefinidos (30) incluyen al menos uno de entre: escenario de alarma de alta temperatura ambiente de la turbina
 35 eólica, alta temperatura del generador de la turbina eólica, alta temperatura del tren de accionamiento de la turbina
 eólica, parada con alta velocidad del viento, error de desviación del paso de palas de la turbina eólica, error en todos
 los sensores de viento de la turbina eólica, error de posición del paso de palas de la turbina eólica, alta temperatura
 en el sistema hidráulico de la turbina eólica.

7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que las múltiples señales de sensores
 incluyen señales de sensores que son indicativas de al menos una de entre: velocidad del viento, dirección del
 viento, temperatura ambiente, temperatura del generador de la turbina eólica, temperatura del tren de accionamiento
 de la turbina eólica, temperatura del sistema hidráulico de la turbina eólica, posición de palas, tensión de red,
 40 número de giros del cable, potencia de salida, temperatura de la góndola, error del relé térmico, cargas en la torre,
 vibraciones en la torre, velocidad del rotor, ángulo de paso, cargas en las palas, capacidad de refrigeración, presión
 de aceite, corriente del generador.

8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el modo seguro comprende al menos
 uno de entre: operación de la turbina eólica con salida de potencia reducida, realización de un análisis de defecto del
 50 sensor, realización de una operación de enderezado del cable, realización de una operación de refrigeración,
 supervisión de al menos una señal de sensor para la detección de si se excede un valor de umbral.

9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que se genera una señal de alarma
 específica que indica el escenario de alarma (30) para el que se cumple la condición de alarma específica.

10. Una turbina eólica, que comprende:

una torre (23),
 una góndola (22),
 60 un rotor (21) con al menos una pala (20),
 un control (24) dispuesto para controlar la operación de una turbina eólica (19), en el que el control (24) incluye
 una memoria (26) para almacenamiento de la pluralidad de escenarios de alarma predefinidos (30); y
 en el que el control (24) se conecta a múltiples sensores (25a-d) que se disponen para producir señales de
 sensores que son indicativas del estado de al menos dicha turbina eólica (19);
 65 en el que el control (24) se dispone adicionalmente para analizar las múltiples señales de sensores para
 determinar si se cumple una condición de alarma específica tal como se predefine en uno de la pluralidad de

diferentes escenarios de alarma predefinidos (30); y para analizar adicionalmente al menos una de las múltiples señales de sensores de acuerdo con etapas de análisis, tal como se predefine en el escenario de alarma (30) para el que se cumple la condición de alarma específica, para determinar si la turbina eólica (19) ha de ser puesta en cualquiera de entre un modo seguro predefinido, un modo de detención o un modo de operación continuada, en el que las etapas de análisis comprenden la simulación de un estado teórico de la turbina eólica (19);

5 en el que el control (24) se dispone adicionalmente para controlar la turbina eólica (19) en el modo seguro, basándose en el estado teórico simulado de la turbina eólica (19), en el que el modo seguro hace que la turbina eólica (19) se opere con una salida de potencia reducida.

10 11. La turbina eólica de la reivindicación 10, en la que los múltiples sensores incluyen al menos uno de entre: sensor de velocidad del viento (25a), sensor de temperatura de la góndola (25b), sensor de posición de palas (25c), sensor de vibración de la torre (25d), sensor de temperatura del aceite hidráulico, sensor de temperatura ambiente, sensor de temperatura del generador, sensor de velocidad del rotor, sensor de dirección del viento, sensor de tensión del generador, sensor de giros del cable, sensor de temperatura del tren de accionamiento, sensor de cargas en la torre, sensor de capacidad refrigeración, sensor de presión de aceite, sensor de corriente del generador.

15 12. La turbina eólica de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 11, en la que el control (24) se dispone adicionalmente para realizar el método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 9.

20

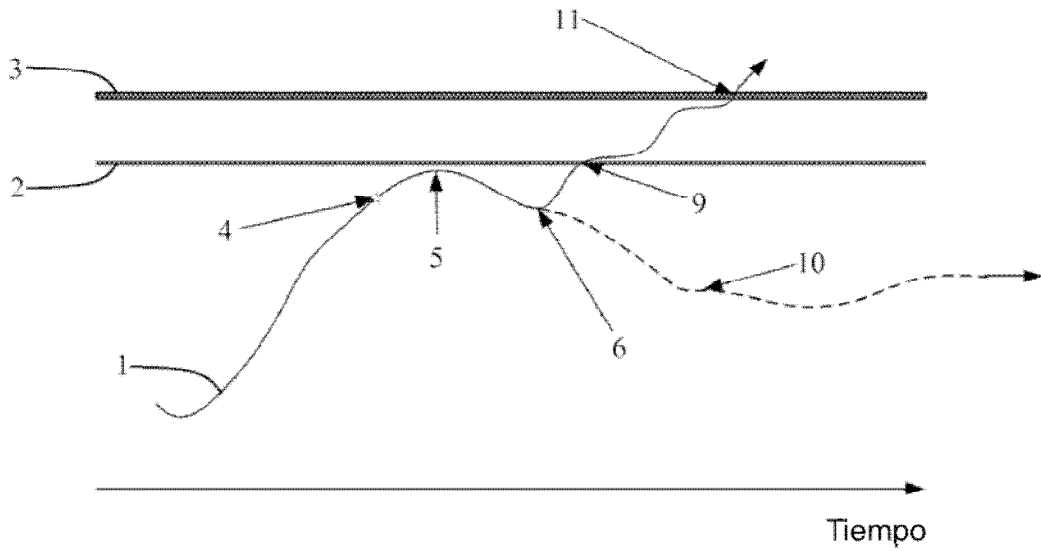


Fig. 1

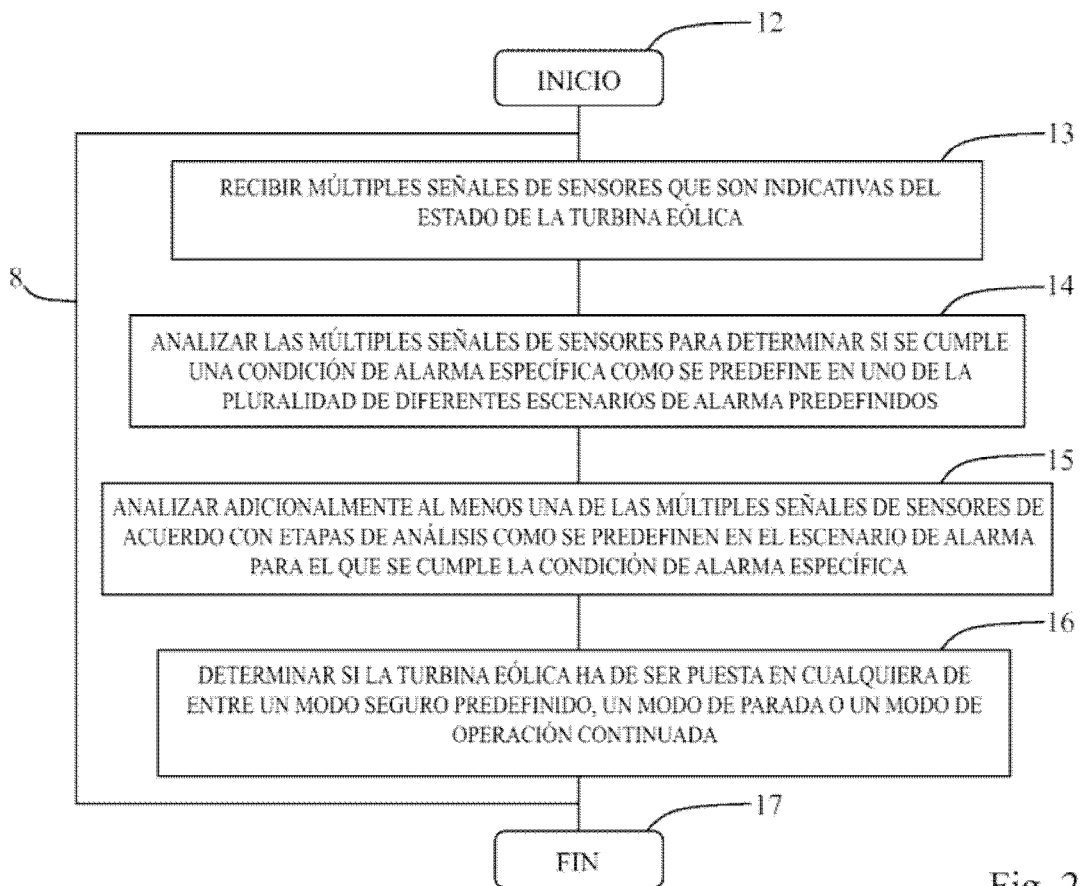


Fig. 2

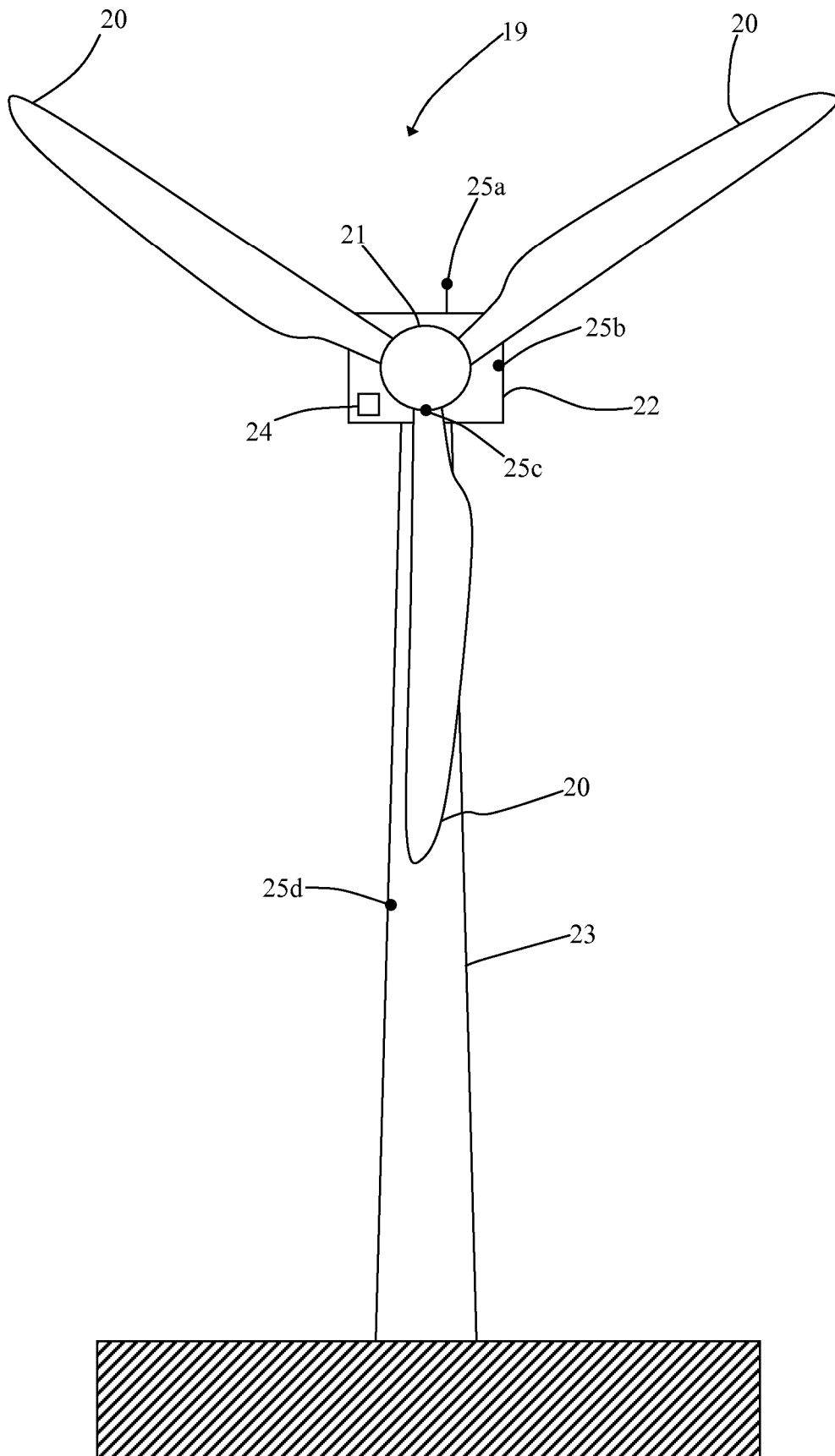


Fig. 3

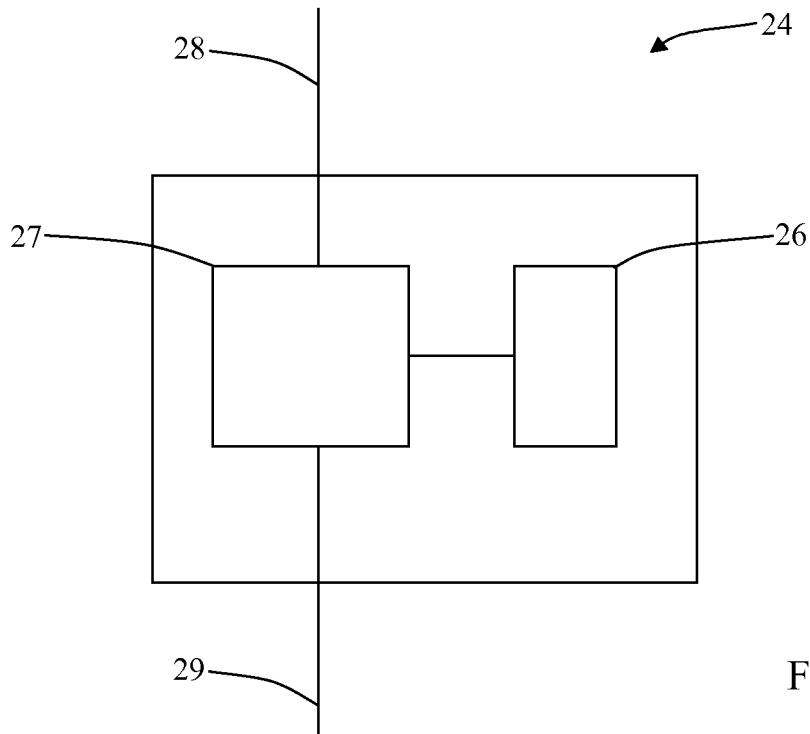


Fig. 4

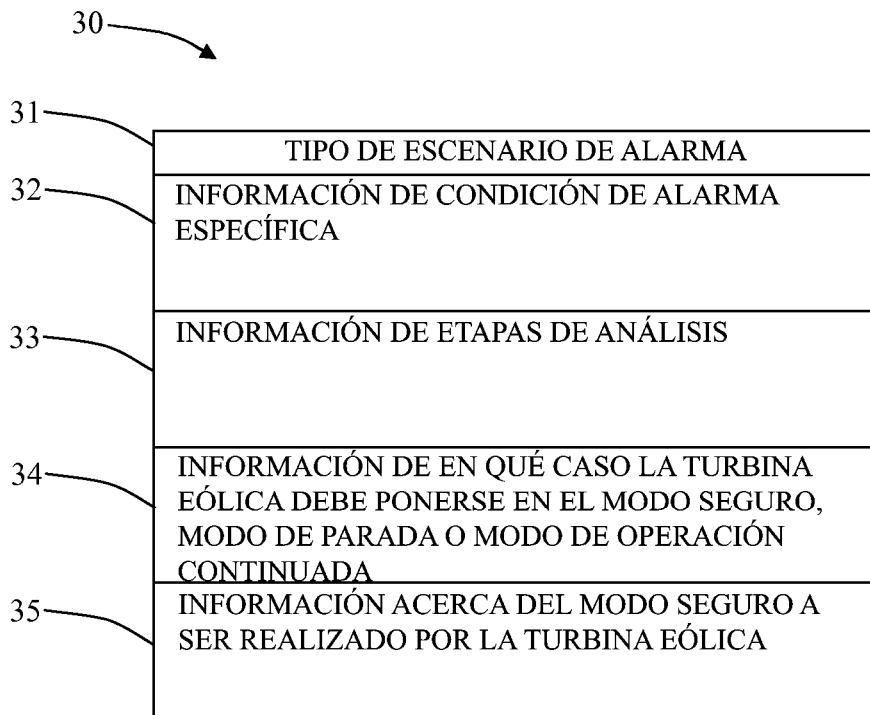


Fig. 5