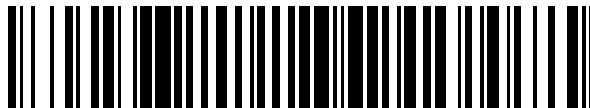


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 902 603**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.02.2017 PCT/DK2017/050029**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.08.2017 WO17140316**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.02.2017 E 17705791 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.12.2021 EP 3417168**

54 Título: **Sistema de control para una turbina eólica que comprende un controlador de pala para cada pala de la turbina eólica**

30 Prioridad:

16.02.2016 DK 201670084

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

29.03.2022

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

HAMMERUM, KELD y

BENGTSON, JOHN

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 902 603 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de control para una turbina eólica que comprende un controlador de pala para cada pala de la turbina eólica

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al control de una turbina eólica y, en particular, se refiere a un sistema de control distribuido que incluye un controlador de pala para cada pala de la turbina eólica.

10 Antecedentes de la invención

La mayor parte de las turbinas eólicas modernas se controlan y regulan continuamente con el fin de garantizar la extracción de potencia óptima del viento en las condiciones eólicas y climáticas actuales, a la par que se garantiza que las cargas sobre los distintos componentes de la turbina eólica se mantienen en todo momento dentro de unos límites aceptables mientras se respeta cualquier limitación operativa establecida externamente. Basándose en esto y siguiendo alguna estrategia de control, los parámetros de control de la turbina se determinan de manera continuada para un rendimiento óptimo en las condiciones dadas.

Al diseñar una turbina eólica, se deben tener en cuenta las cargas experimentadas por la turbina en situaciones extremas, tales situaciones extremas incluyen condiciones climáticas extremas como ráfagas y tormentas, el funcionamiento de la turbina con un componente defectuoso, paradas, etc. En este sentido, las fuerzas que actúan sobre una turbina moderna de megavatios como resultado de una falla puede ser bastante extremas. Un ejemplo son las fuerzas asimétricas que pueden surgir si el sistema de paso de una pala se estropea. Otro ejemplo es la pérdida de par del generador durante el funcionamiento.

Para tener en cuenta estos posibles escenarios de carga al diseñar la turbina eólica, se pueden aplicar varias estrategias. Una solución sencilla es simplemente construir la turbina lo suficientemente fuerte, por ejemplo, usar suficiente acero en la torre, una base lo bastante amplia, un cojinete principal suficientemente grande, etc. para soportar la situación de carga en el peor de los casos. Sin embargo, esta solución es bastante cara. En estrategias alternativas menos costosas, se puede realizar un diseño adecuado del sistema de control y de otros elementos del sistema para mitigar los escenarios de carga extrema identificados y, por lo tanto, permitir el uso de menos acero en la torre, así como de componentes más pequeños y ligeros en general.

El documento US2014/0127014 A1 divulga una turbina eólica con un dispositivo de ajuste de pala que está conectado a una cadena de seguridad de la planta, y donde las fuentes de tensión de control de los dispositivos de ajuste de pala están aisladas galvánicamente entre sí.

El documento US2008/0290664 A1 divulga una instalación de energía eólica que comprende un dispositivo de control central y dispositivos de paso individuales provistos individualmente para las palas de un rotor. Los dispositivos de paso individuales pueden incluir una unidad de ajuste, un enlace de comunicaciones al dispositivo de control central y un regulador.

La invención se ha concebido en este contexto.

45 Sumario de la invención

Sería ventajoso lograr un sistema de control para una turbina eólica que, por un lado, reduzca el riesgo de fallas con implicaciones de carga y que, por otro lado, soporte que en caso de que se produzca una falla con implicación de carga, esta falla se pueda gestionar de una manera bien definida.

Por consiguiente, en un primer aspecto, se proporciona un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 1 para una turbina eólica que comprende dos o más palas, el sistema de control comprende un controlador de pala para cada pala de la turbina eólica y un controlador central, en donde cada controlador de pala está dispuesto para controlar el ángulo de paso de la pala a la que está asignado, y cada controlador de pala está conectado eléctricamente a una fuente de alimentación; en donde la conexión eléctrica entre cada controlador de pala y la fuente de alimentación del controlador de pala está funcionalmente aislada de la conexión eléctrica de cada uno de los otros controladores de pala y de la fuente de alimentación de los respectivos controladores de pala.

El sistema de control proporciona independencia entre la pérdida de par en el tren de transmisión y la pérdida de la función de control de paso y al mismo tiempo garantiza que una falla eléctrica en un controlador de pala no provoque una falla en ningún otro controlador de pala y garantizar, de ese modo, que, si se produce una pérdida de la función de control de paso, esta pérdida solo se produzca en una pala a la vez. De esta manera, la probabilidad de pérdida de par en el tren de transmisión y de pérdida de la función de control de paso en más de una pala se puede reducir a un nivel muy bajo. Esto tiene la consecuencia ventajosa de que la resistencia estructural requerida para la torre de la turbina eólica y otros componentes se puede diseñar en consecuencia, es decir, reducirse, lo que conlleva una turbina eólica más rentable.

En un segundo aspecto, se proporciona una turbina eólica con un sistema de control de acuerdo con el primer aspecto. En una realización, el sistema de control se implementa en la turbina eólica como un sistema de control distribuido donde los controladores de pala se colocan en el buje.

5 La colocación de los controladores de pala en el buje aporta robustez frente a fallas en la transmisión de señales a través de la interfaz giratoria buje/góndola. Es decir, se puede mantener un control total del paso si esta interfaz falla.

10 En general los aspectos de la invención pueden combinarse y acoplarse de cualquier manera posible dentro del alcance de la invención. Estos y otros aspectos, características y/o ventajas de la invención se pondrán de manifiesto y se elucidarán a partir de y con referencia a las realizaciones que se describen a continuación.

Breve descripción de los dibujos

15 Se describirán realizaciones de la invención, únicamente a modo de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos, en los que

la figura 1 ilustra, en una vista esquemática en perspectiva, un ejemplo de una turbina eólica;
 20 la figura 2 ilustra esquemáticamente elementos de un sistema de control de conformidad con las realizaciones de la presente invención;
 la figura 3 ilustra esquemáticamente una vista frontal de un buje junto con la sección inferior de las palas;
 las figuras 4 a 6 ilustran realizaciones de un aislamiento funcional de las conexiones eléctricas entre cada controlador de pala y la fuente de alimentación del controlador de pala;
 la figura 7 ilustra realizaciones de la funcionalidad del sistema de control; y
 25 la figura 8 ilustra ejemplos de escenarios de falla predefinidos

Descripción de las realizaciones

30 La figura 1 ilustra, en una vista esquemática en perspectiva, un ejemplo de una turbina eólica 1. La turbina eólica 1 incluye una torre 2, una góndola 3 dispuesta en el ápice de la torre y un rotor 4 acoplado operativamente a un generador alojado dentro de la góndola 3. Además del generador, la góndola aloja una variedad de componentes requeridos para convertir la energía eólica en energía eléctrica y diversos componentes necesarios para operar, controlar y optimizar el rendimiento de la turbina eólica 1. El rotor 4 de la turbina eólica incluye un buje central 5 y una pluralidad de palas 6 que se proyectan hacia el exterior desde el buje central 5. En la realización ilustrada, el rotor 4 incluye tres palas 6, pero el número puede variar. Asimismo, la turbina eólica comprende un sistema de control. El sistema de control puede estar colocado dentro de la góndola o estar distribuido en una serie de ubicaciones dentro (o fuera) de la turbina y estar conectado comunicativamente.

40 La figura 2 ilustra esquemáticamente una realización de elementos de un sistema de control 20, 21, 22 junto con elementos adicionales de una turbina eólica. La turbina eólica comprende palas de rotor 6 que están conectadas mecánicamente a un tren de potencia TRP a través de un eje 23. El tren de potencia no se muestra en detalle, pero incluye un generador eléctrico, opcionalmente, una caja de engranajes y un convertidor eléctrico. La potencia eléctrica generada por el generador se inyecta en una red eléctrica a través de un convertidor eléctrico. El generador eléctrico y el convertidor pueden basarse en una arquitectura de convertidor a escala completa (FSC) o una arquitectura de generador de inducción de doble alimentación (DFIG), pero se pueden usar otros tipos.

El sistema de control comprende una serie de elementos, que incluyen al menos un controlador central 20 con un procesador y una memoria, de modo que el procesador es capaz de ejecutar tareas informáticas basándose en las instrucciones almacenadas en la memoria. En general, el controlador de turbina eólica garantiza que, en funcionamiento, la turbina eólica genera un nivel de salida de potencia solicitado. Esto se obtiene ajustando el ángulo de paso 24 y/o la extracción de potencia del convertidor. Para este fin, el sistema de control comprende un controlador de pala 21 para cada pala. El controlador de pala forma parte de un sistema de accionamiento del paso, que comprende un accionador de paso 25, tal como un sistema de accionamiento hidráulico o un sistema de accionamiento eléctrico. El ángulo de paso se establece basándose en una referencia de paso determinada 26. El tren de potencia incluye o está conectado a un controlador de potencia 22 que, basándose en una referencia de potencia 27 y otros valores, controlan el generador y/o convertidor.

60 Las palas del rotor pueden cambiar de paso usando un sistema de paso común que ajusta todos los ángulos de paso de todas las palas del rotor al mismo tiempo, así como además de ello un sistema de paso individual que es capaz de cambiar el paso de las palas del rotor individualmente. El sistema de control se ilustra comprendiendo un controlador central 20 colocado en la góndola y un controlador de pala 21, para cada pala, colocado en el buje cerca de la pala a la que está asignado. Sin embargo, pueden estar presentes más elementos del sistema de control, tanto en la góndola como en el buje, aunque también en la torre, así como en un controlador de central eléctrica (no mostrado).

65 La figura 3 ilustra esquemáticamente una vista frontal de un buje 5 junto con la sección inferior de las palas 6. La figura 3 además ilustra controladores de pala 21 para cada pala de la turbina eólica. Los controladores de pala están

acoplados de manera comunicativa a un controlador central a través de una transmisión giratoria entre el buje y la góndola. En la realización ilustrada, cada controlador de pala está conectado a una unidad de comunicación 30, tal como una unidad de conmutación o un conmutador de red, que garantiza la comunicación entre el controlador central y posiblemente otras unidades y cada uno de los controladores de pala, al igual que entre los controladores de pala.

5 Además, la figura ilustra una unidad de fuente de alimentación 31 conectada eléctricamente a cada controlador de pala. La conexión eléctrica 32 entre cada controlador de pala 21 y la fuente de alimentación 31 del controlador de pala está funcionalmente aislada de la conexión eléctrica de cada uno de los otros controladores de pala y de la fuente de alimentación de los respectivos controladores de pala. De esta manera, cualquier falla eléctrica que se produzca en un controlador de pala o en la fuente de alimentación de un controlador de pala no se propaga a ningún otro controlador de pala o fuente de alimentación de ningún otro controlador de pala.

15 El aislamiento funcional de la conexión eléctrica entre cada controlador de pala y la fuente de alimentación del controlador de pala logra una separación de dominio de cada controlador de pala. Las figuras 4 a 6 ilustran realizaciones de tal separación de dominio. Si bien se ilustran tres realizaciones, se debe entender que el experto en la materia podría tener a su disposición más implementaciones adicionales y diferentes para proporcionar una separación de dominio y que la invención no está limitada a los ejemplos mostrados.

20 La figura 4 ilustra esquemáticamente una realización de una disposición de fuente de alimentación 31 donde cada controlador de pala 21, CP1 - CP3 es alimentado por una salida de suministro de CC dedicada desde un suministro de CA a CC 40. En la realización ilustrada, se proporciona una línea de suministro 41 común de CA al buje, y los transformadores de CA a CC proporcionan el aislamiento funcional. En una realización, la tensión de CA puede estar en un intervalo de 230 V a 480 V, sin embargo, un transformador de CA a CC apropiado puede utilizar cualquier tensión disponible en la turbina. La tensión de CC puede estar en un intervalo de 5 V a 48 V, aunque de nuevo, un transformador de CA a CC apropiado puede suministrar cualquier tensión requerida por los controladores de pala.

25 En una realización, el aislamiento funcional está provisto por un aislamiento galvánico entre cada controlador de pala. El aislamiento galvánico lo proporciona el transformador de CA a CC y puede proporcionarse de cualquier manera apropiada, como sabe el experto en la materia.

30 La figura 5 ilustra esquemáticamente una realización general de una disposición de fuente de alimentación donde cada controlador de pala 21, CP1 - CP3 es alimentado por una línea de suministro dedicada 51 que comprende una unidad eléctrica 50 que tiene un lado primario P y un lado secundario S. La línea de suministro dedicada puede estar alimentada desde una fuente de alimentación que garantiza la separación funcional entre las líneas de suministro 51 para los controladores de pala, en este caso, la función de la unidad eléctrica 50 es la de generar una tensión de salida de la fuente de alimentación dedicada adecuada para el controlador de pala. Si la línea de suministro dedicada no se alimenta de una fuente de alimentación que garantice la separación funcional entre las líneas de suministro 51, la función de la unidad eléctrica 50, además de generar una tensión de salida adecuada para el controlador de pala, es también la de proporcionar una separación de dominio entre los controladores de pala, tal como mediante una separación galvánica.

35 La figura 6 ilustra esquemáticamente una realización de una disposición de fuente de alimentación 63 donde cada controlador de pala 21, CP1 - CP3 es alimentado por un suministro común 61 que tiene un lado primario P y un lado secundario S, esto puede ser, por ejemplo, un suministro de CA a CC o un suministro de CC a CC de segundo nivel. Asimismo, cada línea de suministro comprende un elemento eléctrico 60 que garantiza la separación funcional entre los controladores de pala, tales como elementos de separación galvánica que proporcionan una separación galvánica de CC a CC. En esta realización, se proporciona un suministro de batería 62 para cada controlador de pala para proporcionar una fuente de alimentación redundante que garantiza que no se pierda potencia en todos los controladores de pala si falla el suministro común. En una realización, el elemento de separación galvánica 60 también puede estar integrado en los controladores de pala.

40 Si bien la figura 6 ilustra una realización con una fuente de alimentación redundante 62, se puede utilizar de manera más general una fuente de alimentación redundante para proporcionar un suministro de energía adicional. Otro ejemplo en el que cada controlador de pala además comprende una fuente de alimentación redundante se proporciona en la figura 3, donde cada controlador de pala está conectado a una batería auxiliar 33 para que una fuente de alimentación redundante pueda mitigar una falla que se produzca en la unidad de fuente de alimentación 31.

La figura 7 ilustra realizaciones de la funcionalidad implementada del sistema de control.

60 Una función importante del controlador de pala 21, CP es controlar el ángulo de paso 24 de la pala a la que está asignado.

65 El funcionamiento del controlador de pala es para gestionar fallas. Cada controlador de pala está dispuesto para recibir una orden de paso OP1 del controlador central 20, CoC y validar la orden de paso recibida. Tras una orden de paso válida del controlador central, la orden de paso recibida se utiliza como la orden de paso para la pala, es decir, la orden de paso recibida OP1 se reenvía al accionador de la pala como OP2, y el accionador de la pala garantiza que se

establezca el ángulo de paso 70 en consecuencia.

5 En una realización, la validación puede ser una comprobación para determinar que una orden de paso se ha recibido realmente. Puede ser una comprobación para determinar que un cambio en la orden de paso en comparación con las órdenes de paso recibidas anteriormente está dentro de unos límites aceptables, por ejemplo, una orden de paso puede compararse con una trayectoria de paso actualizada de manera continuada. Otros ejemplos incluyen comparar la orden de paso recibida con la orden u órdenes de paso recibidas para otros controladores de pala. Se puede determinar si la orden de paso es correcta de acuerdo con el protocolo de comunicación. El controlador de pala puede utilizar un cálculo modélico para determinar un efecto de la orden de paso y solo como resultado de un efecto aceptable validar la orden de paso. El efecto puede ser efectos tales como una carga estimada. En general, puede estar dentro de las capacidades del experto en la materia establecer criterios con respecto a cuándo una orden de paso es válida o no.

15 En una situación en la que se recibe una orden de paso no válida, el controlador de pala está dispuesto para determinar una orden de paso para la pala. Se divulgan ejemplos de esto en relación con la figura 8 cuando se analizan los modos de falla F1 y F2.

20 En una realización, cada controlador de pala puede estar dispuesto para recibir una orden de paso OP1 del controlador central CoC y modificar la orden de paso y utilizar la orden de paso modificada para controlar el paso de la pala. En esta situación, la orden de paso OP2 es diferente de la orden de paso OP1.

25 En una realización, el controlador de pala está dispuesto para recibir una orden de paso colectiva que se basa en la velocidad del viento, la aerodinámica del rotor, el estado operativo de la turbina, etc. El controlador de pala superpone una respuesta de paso adicional a la orden de paso colectiva, como respuesta de paso de mitigación de carga o respuesta de paso de amortiguación de vibraciones, o cualquier otra respuesta de paso adicional donde se puede usar un ángulo de paso establecido individualmente para lograr un objetivo determinado.

30 En general, el controlador central CoC utiliza varias entradas 71 para determinar una orden de paso OP1. Además, el controlador o controladores de pala pueden recibir una entrada o entradas de sensor 72. Al tener acceso a la entrada del sensor, la orden de paso OP2 para una pala se puede determinar basándose en la entrada del sensor.

35 En general, el controlador de pala puede estar equipado con una potencia de cálculo determinada. Para este fin, cada uno de los controladores de pala puede comprender un procesador y una memoria para llevar a cabo la funcionalidad de las realizaciones de la presente invención. La potencia de cálculo puede ser al menos tal que cada controlador de pala sea capaz de calcular un punto de ajuste de paso para la pala a la que el controlador está asignado. El punto de ajuste de paso se puede calcular basándose en la entrada.

40 En una realización, las entradas del sensor 72 pueden ser entradas tales como momentos de la raíz de la pala para su uso en relación con el cambio de paso que mitiga la carga, de sensores de vibración de la pala para su uso en acciones de mitigación de vibración de la pala, de sensores de aceleración de la torre para su uso en la amortiguación de torres, etc. Asimismo, el sensor de entrada 72 también puede, mediante unas entradas de sensor virtual, donde se utilizan varias entradas de sensor y un modelo de turbina para calcular las entradas en posiciones que no están cubiertas por un sensor físico, tal como un sensor de ángulo de ataque. En realizaciones adicionales, la entrada del sensor puede ser la posición azimutal del rotor, la velocidad del rotor medida en el eje de baja velocidad y/o en el eje de alta velocidad, etc. En la figura 3, se proporciona un ejemplo de un sensor conectado a los controladores de pala 45 21, donde se muestran los sensores 34 del momento de la raíz para cada pala.

50 En una realización, cada controlador de pala está dispuesto para determinar si al menos un controlador de pala está en un modo de falla. El al menos un controlador de pala puede ser el propio controlador o cualquier otro controlador.

55 En una realización, el controlador puede determinar que cualquier otro controlador está en un modo de falla al recibir una señal de falla a través de una red de comunicación 30. Esto puede implementarse transmitiendo una orden de falla por la red de comunicación 30 tras detectar una falla o entrar en un modo de falla. Sin embargo, en una realización, la determinación de que al menos uno de los otros controladores de pala está en modo de falla puede ser determinada por el controlador de pala sin estar en contacto comunicativo con el al menos otro controlador de pala, es decir, en una situación en la que la red de comunicación se pierde o falla. Esto se puede obtener mediante el uso de la red de comunicación al transmitir órdenes sin fallas en la red a intervalos regulares durante el funcionamiento normal. En caso de que cesen tales órdenes sin fallas desde un controlador de pala determinado, se puede asumir que el controlador de pala está en un modo de falla. En una realización, el registro de que se transmiten órdenes sin fallas se puede combinar con mensajes recibidos anteriormente para deducir un modo de falla dado del controlador de pala.

60 La Figura 8 ilustra ejemplos de escenarios de falla predefinidos, denominados, en el presente documento, F1 y F2 e ilustrados en las figuras 8B y 8C, respectivamente.

65 En una situación en la que se determina que un controlador de pala está en un modo de falla, cada controlador de pala puede estar provisto de una serie de escenarios de falla predefinidos. Tras determinar si al menos un controlador

de pala está en un modo de falla, los escenarios de falla predefinidos se pueden utilizar para clasificar el modo de falla del al menos un controlador de pala como uno de los escenarios de falla predefinidos.

5 En una realización, cada escenario de falla predefinido puede tener una estrategia de paso asociada que se utiliza para el control de la pala en el modo de falla.

La figura 8A ilustra una situación de funcionamiento normal en la que se genera potencia a un nivel dado y en la que se utiliza un control de paso individual para compensar una carga asimétrica del rotor.

10 En la figura 8B se está produciendo un primer escenario F1 de falla. En este escenario de falla, se ha producido una eliminación más o menos abrupta del par del generador. El modo de falla se establece en F1 y cada controlador de pala utiliza la estrategia de paso asociada que, en el ejemplo mostrado, es una combinación de cambio de paso fuera del viento para evitar una velocidad excesiva del rotor y un cambio de paso individual para mantener el control de la carga asimétrica del rotor.

15 En la figura 8C se está produciendo un segundo escenario de falla F2. En este escenario de falla, se está produciendo una falla en una de las palas. El modo de falla se establece en F2 y cada controlador de pala utiliza la estrategia de paso asociada que, en el ejemplo mostrado, es diferente para la pala que falla y las dos palas en funcionamiento. De nuevo, se realiza, sin embargo, un cambio de paso general fuera del viento para evitar una velocidad excesiva del rotor. La pala que falla varía el paso usando un estado seguro de cambio de paso constante, p. ej. obtenido mediante un arreglo mecánico, mientras que las otras dos palas continúan con un esquema de control de paso individual modificado para mantener la compensación por cargas asimétricas del rotor. En relación con el cambio de paso individual de las dos palas de trabajo, se puede tener en cuenta la posición de paso de la pala que falla. La potencia disminuye lentamente junto con la velocidad del rotor.

20 La figura 8C ilustra una variación de paso constante de la pala que falla. Tal cambio de paso constante puede implementarse como un modo a prueba de fallas que se ejecuta tras la determinación de al menos algunos modos de falla de los controladores de pala.

25 En general, cada controlador puede tener implementado un modo a prueba de fallas.

30 En un sistema de control, las fallas pueden tener varios orígenes y, a grandes rasgos, pueden clasificarse en fallas de hardware, tales como fallas de electrónica y del sistema eléctrico, y fallas de software resultantes de un código inadecuado. Una forma de reducir el riesgo de fallas es diseñar el sistema de conformidad con las normas de seguridad, tales como las normas relacionadas con la seguridad para sistemas de control ISO 13849, IEC 61508 e IEC 62061.

35 En una realización, cada controlador de pala está dispuesto en un dominio seguro. Esto significa que cada controlador de pala ha sido diseñado y programado de conformidad con una norma de seguridad específica y un organismo de certificación ha certificado que satisface la norma.

40 Además de disponer los controladores de pala en un dominio seguro, también los sensores dispuestos para proporcionar entradas se pueden disponer en un dominio seguro. En general, el controlador de pala puede utilizar la entrada de ambos sensores dispuestos en un dominio seguro y de sensores no dispuestos en un dominio sensor.

45 En general, un componente o disposición, tal como un controlador o un sensor pueden estar certificados para ciertos niveles de rendimiento de seguridad (PL) o nivel de integridad de seguridad (SIL). Dichos niveles de seguridad están técnicamente bien definidos, ya que se han definido de conformidad con criterios técnicos bien definidos.

50 En una realización, un controlador de pala y/o un sensor, pueden estar certificados para un nivel de rendimiento que garantice que el riesgo de fallo de control en más de una pala a la vez es inferior a 10^{-6} por hora, correspondiente a un nivel de rendimiento SIL de clase 2 según la norma IEC 62061:2006. Para tal nivel, se puede decir que la seguridad funcional del controlador de pala es de modo continuo de conformidad con la terminología de la norma IEC 62061.

55 Aunque la presente invención se ha descrito en relación con las realizaciones especificadas, no debería interpretarse que está limitada en modo alguno a los ejemplos presentados. La invención puede implementarse por cualquier medio adecuado; y el alcance de la presente invención ha de interpretarse a la luz del conjunto de reivindicaciones adjuntas. Ningún símbolo de referencia de las reivindicaciones debería interpretarse como una limitación del alcance.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de control para una turbina eólica (1) que comprende dos o más palas (6), el sistema de control comprende un controlador de pala (21) para cada pala de la turbina eólica y un controlador central (20), en donde cada controlador de pala está dispuesto para controlar el ángulo de paso (24) de la pala a la que está asignado, y cada controlador de pala está conectado eléctricamente a una fuente de alimentación (31); en donde la conexión eléctrica entre cada controlador de pala y la fuente de alimentación del controlador de pala está funcionalmente aislada de la conexión eléctrica de cada uno de los otros controladores de pala y de la fuente de alimentación de los respectivos controladores de pala, caracterizado por que cada controlador de pala está dispuesto para calcular una orden de paso (OP2), y en donde cada controlador de pala está dispuesto para recibir una orden de paso (OP1) del controlador central y validar la orden de paso recibida; tras una orden de paso válida del controlador central, la orden de paso recibida se utiliza como la orden de paso para la pala; y tras una orden de paso no válida, el controlador de pala está dispuesto para determinar una orden de paso para la pala para controlar el ángulo de paso de la pala a la que está asignado.
2. El sistema de control de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la fuente de alimentación de cada controlador de pala además comprende una fuente de alimentación redundante (33, 62).
3. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada controlador de pala está dispuesto para recibir una orden de paso del controlador central y en donde el controlador de pala está dispuesto para modificar la orden de paso y usar la orden de paso modificada para controlar el paso de la pala.
4. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada controlador de pala está dispuesto para recibir una entrada (72) de un sensor y en donde la orden de paso para la pala se determina basándose en la entrada del sensor.
5. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada controlador de pala está dispuesto para determinar si al menos un controlador de pala está en un modo de falla.
6. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la determinación de que al menos uno de los otros controladores de pala está en un modo de falla viene determinada por el controlador de pala sin estar en contacto comunicativo con el al menos uno de los otros controladores de pala.
7. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada controlador de pala está provisto de una serie de escenarios de falla predefinidos, y tras la determinación de si al menos un controlador de pala está en un modo de falla, determinar que el modo de falla del al menos un controlador de pala es uno de los escenarios de falla predefinidos.
8. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada escenario de falla predefinido tiene una estrategia de paso asociada, y en donde tras la determinación de que el al menos otro controlador de pala es uno de los escenarios de falla predefinidos, basado el control de la pala en la estrategia de paso asociada.
9. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada controlador de pala incluye un modo a prueba de fallas, y tras la determinación de si al menos un controlador de pala está en un modo de falla, controlar la pala de conformidad con el modo a prueba de fallas.
10. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la determinación de que al menos uno de los otros controladores de pala está en un modo de falla viene determinada por el controlador de pala sin estar en contacto comunicativo con el al menos uno de los otros controladores de pala.
11. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada controlador de pala está dispuesto en un dominio seguro.
12. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada controlador de pala está dispuesto para recibir una entrada de un sensor y en donde la orden de paso para la pala se determina basándose en la entrada del sensor, en donde el sensor está dispuesto en un dominio seguro.
13. Una turbina eólica (1) que comprende un rotor (4) con dos o más palas (6) y un buje (5), un sistema de generación de potencia impulsado por el rotor, una góndola (3) para alojar el sistema de generación de potencia, y un sistema de actuación sobre el paso de pala del rotor (21, 25) para ajustar el ángulo de paso (24) de la pala; en donde la turbina eólica además comprende un sistema de control, el sistema de control comprende un controlador de pala (21) con un procesador y una memoria para cada pala de la turbina eólica y un controlador central (20), en donde cada controlador de pala está dispuesto para controlar el ángulo de paso (24) de la pala a la que está asignado, y cada controlador de pala está conectado eléctricamente a una fuente de alimentación (31); en donde la conexión eléctrica entre cada controlador de pala y la fuente de alimentación del controlador de pala está funcionalmente aislada de la conexión

5 eléctrica de cada uno de los otros controladores de pala y de la fuente de alimentación de los respectivos controladores de pala, caracterizado por que cada controlador de pala está dispuesto para calcular una orden de paso (OP2), y en donde cada controlador de pala está dispuesto para recibir una orden de paso (OP1) del controlador central y validar la orden de paso recibida; tras una orden de paso válida del controlador central, la orden de paso recibida se utiliza como la orden de paso para la pala; y tras una orden de paso no válida, el controlador de pala está dispuesto para determinar una orden de paso para la pala para controlar el ángulo de paso de la pala a la que está asignado.

10 14. La turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 13, en donde el sistema de control es un sistema de control distribuido donde al menos el controlador de pala para cada pala de la turbina eólica está colocado en el buje.

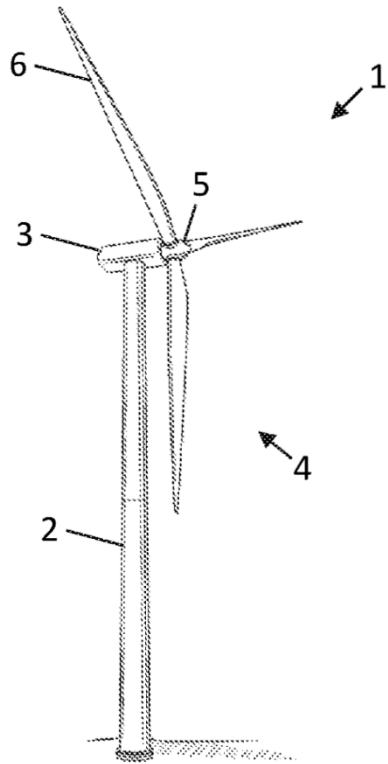


Fig. 1

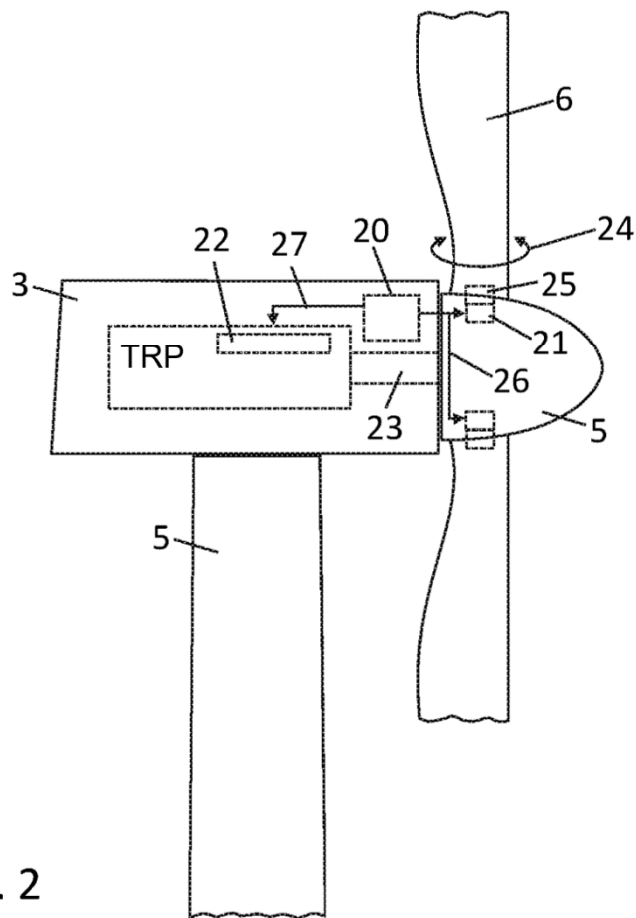


Fig. 2

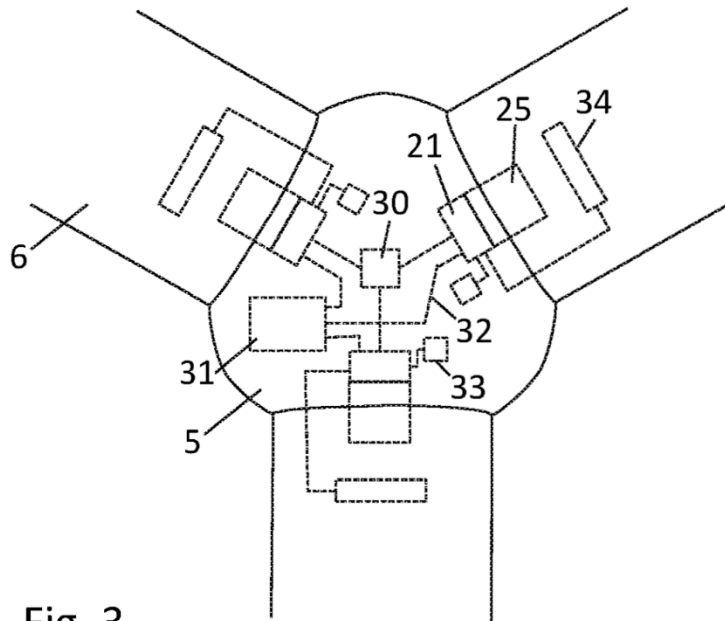


Fig. 3

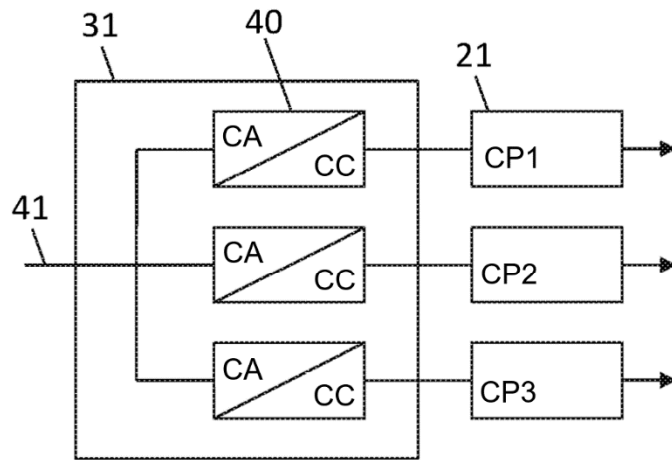


Fig. 4

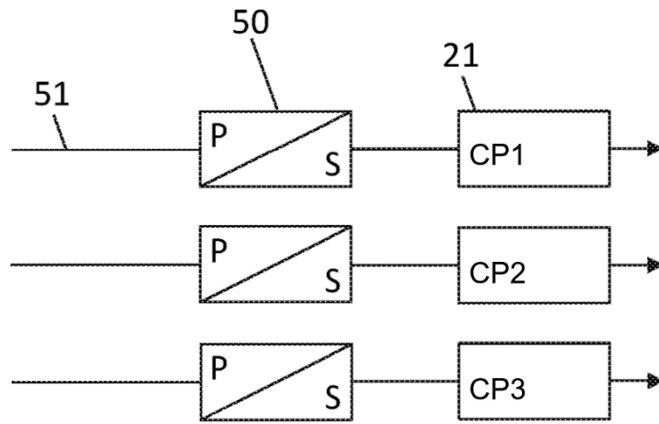


Fig. 5

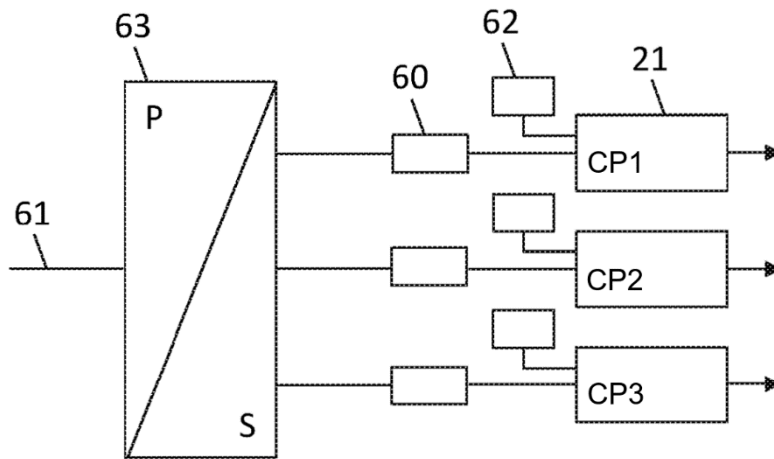


Fig. 6

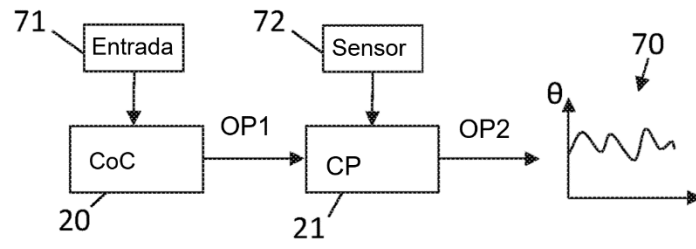


Fig. 7

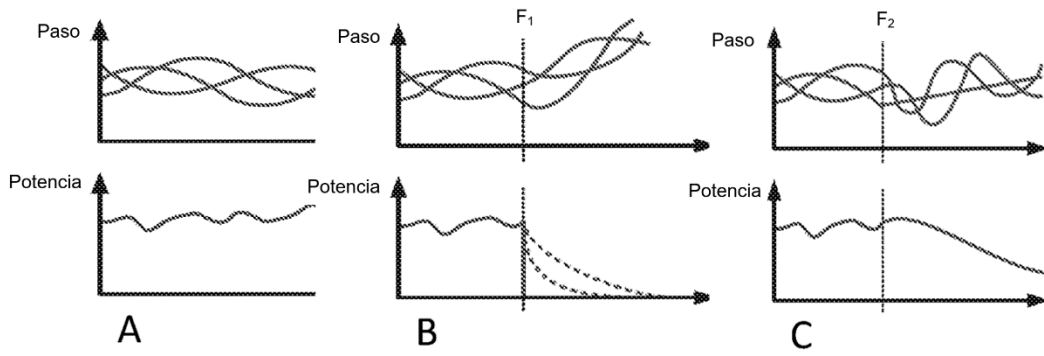


Fig. 8