

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 731 264**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 7/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.07.2016** E 16181629 (3)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2019** EP 3133282

54 Título: **Procedimiento y sistema para la vigilancia del ajuste de una pala individual de una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

**19.08.2015 DE 102015010686**

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

**14.11.2019**

73 Titular/es:

**SENVION GMBH (100.0%)  
Überseering 10  
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**WARFEN, KARSTEN y  
PLESS, TIMO**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 731 264 T3**

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

**DESCRIPCIÓN**

Procedimiento y sistema para la vigilancia del ajuste de una pala individual de una instalación de energía eólica

Descripción

5 La invención se refiere a un procedimiento y a un sistema para la vigilancia del ajuste de una pala individual de una instalación de energía eólica que comprende una torre y un rotor dispuesto sobre la torre con al menos dos palas del rotor ajustables individualmente en la inclinación, a las que en cada caso está asociado un accionamiento de la inclinación, en donde por una unidad de control operativa o un control de la inclinación de la instalación de energía eólica se solicita o solicitan un ángulo de paso teórico colectivo para todas las palas del rotor y/o ángulos de paso teóricos individuales para cada una de las palas del rotor individuales. Además, la invención se refiere a una instalación de energía eólica con un sistema de este tipo.

10 Las instalaciones de energía eólica modernas disponen para sus palas del rotor de un ajuste individual de las palas del ángulo de ajuste de las palas del rotor, que también se denomina ángulo de paso o de forma abreviada "inclinación". En el intervalo de carga completa, la potencia de las instalaciones de energía eólica se regula habitualmente de manera predominante a través del control de la inclinación. Para ello a cada una de las palas del rotor está asociado un accionamiento de la inclinación propio, así como un tramo de regulación de la inclinación individual o bien un bucle de regulación. El accionamiento de la inclinación de una pala del rotor comprende habitualmente un convertidor de la inclinación que controla un motor de inclinación de corriente alterna o continua que, por su parte, se encuentra engranado a través de un engranaje con una corona dentada en la raíz de la pala del rotor y que mediante su acción determina un giro de la pala del rotor en torno a su eje longitudinal. El convertidor de la inclinación es, por su parte, parte habitual de un bucle de regulación.

15 El bucle de regulación de la inclinación de una pala de un rotor adquiere de la unidad operativa de control de la instalación de energía eólica o de un control de la inclinación en el buje del rotor de la instalación de energía eólica un ángulo de paso teórico individual. En el bucle de regulación de la inclinación se activa el accionamiento de la inclinación, de modo que el ángulo de paso real alcanza al ángulo de paso teórico.

25 La vigilancia de la regulación de la inclinación o de la "regulación individual de la inclinación" (IPC) de una instalación de energía eólica es crítica para la seguridad. Casos de carga críticos son, por ejemplo, los denominados casos de averías de la inclinación fuera de control, en los que una pala del rotor es retirada de la posición de inclinación realmente predeterminada con una elevada tasa de ajuste o bien tasa de inclinación, lo cual conduce a una intensa asimetría de la pala y a cargas correspondientemente elevadas. En este caso, existe un conflicto de objetivos entre una elevada rentabilidad por desprendimiento poco frecuente y una elevada seguridad o bien esfuerzos lo más bajos posible en el caso de fallos por averías.

30 Los casos de la inclinación fuera de control pertenecen a las cargas más intensas que pueden manifestarse en el transcurso del funcionamiento de una instalación de energía eólica. Por lo tanto, esta consideración es también de importancia para la planificación de una instalación de energía eólica, debido a que ya en la concepción de una instalación de energía eólica se planifica qué casos de carga deben ser soportados por la estructura portante.

35 Una vigilancia de la regulación de la inclinación tiene lugar hasta ahora habitualmente mediante una comparación del valor teórico-valor real de los ángulos de paso de las palas del rotor con el valor teórico del circuito de regulación de la inclinación. En virtud de la inercia del sistema de inclinación se incorporan aquí tolerancias relativamente amplias, por ejemplo de  $\pm 4^\circ$  o mayores, de modo que casos de inclinaciones fuera de control solo pueden ser reconocidas relativamente tarde.

40 Un enfoque para limitar esta problemática se conoce del documento WO 2012/079699 A1. En el mismo se da a conocer un accionamiento de inclinación en una instalación de energía eólica, el cual comprende un circuito de regulación con una electrónica de regulación y un dispositivo de ajuste, un dispositivo de observación de la tecnología de regulación, un dispositivo de reconocimiento de fallos y un dispositivo de adaptación. El dispositivo de observación de la tecnología de regulación realiza un modelo del circuito de regulación y simula, por consiguiente, paralelamente el trabajo del circuito de regulación. El dispositivo de reconocimiento de fallos identifica fallos con ayuda de desviaciones entre el modelo y el circuito de regulación, mientras que el dispositivo de adaptación, en el caso de la presencia de un fallo, adapta el comportamiento del circuito de regulación en el sentido de un comportamiento libre de errores, por ejemplo mediante miembros del circuito de regulación de reemplazo previstos de forma redundante o mediante adaptación del comportamiento de transmisión de la electrónica de regulación. Esta tolerancia de errores aumenta la disponibilidad de la instalación de energía eólica con una elevada seguridad de funcionamiento simultánea.

45 X. WEI ET AL: "Sensor and actuator fault diagnosis for wind turbine systems by using robust observer and filter", WIND ENERGY, tomo 14, N° 4, páginas 491 a 516 describe la detección de errores de sensores y accionamientos para sistemas de instalaciones de energía eólica a gran escala con un ajuste de la pala individual. Se establece un modelo dinámico del sistema de la instalación de energía eólica mediante un observador técnico de control en el intervalo de frecuencias finito y se aplica con el fin de generar un valor residual para la detección del fallo. Este observador técnico de control está equipado de manera que es sensible a fallos, pero insensible frente a

perturbaciones tales como turbulencias del viento. Cuando se manifiesta un fallo detectable, el observador emite una señal de alarma, en el caso de que la evaluación residual resulte mayor que un valor límite predefinido.

5 S. Donders: "Fault detection and identification for wind turbine systems: a closed-loop analysis", Master's Thesis, Universidad de Twente, 2002, trata una detección de fallos y una identificación sobre la base de un modelo. Uno de los enfoques descritos es un enfoque basado en el observador, en el que en una simulación afectada por el ruido de un sistema de una instalación de energía eólica se utiliza un algoritmo de filtro de Kalman recursivo o bien un observador de Kalman, con el fin de determinar la velocidad del viento reinante simulada, así como el factor de refuerzo simulado de los accionamientos de regulación del ángulo de la pala.

10 A. HWAS y R. KATEBI, "Nonlinear observer-based fault detection and isolation for wind turbines", 22ª Conferencia Mediterránea sobre el Control y la Automatización, Palermo, 2014 se ocupa del desarrollo de un esquema basado en un observador no lineal para el reconocimiento temprano de fallos y el aislamiento en instalaciones de energía eólica. Se desarrollan un observador no lineal y un modelo no lineal de una instalación de energía eólica de 5 MW, tomándose como objetivo de diseño el que se optimice el sistema de detección de fallos, con el fin de ser sensibles a un fallo del sistema y lo menos sensibles posible a perturbaciones del sistema y ruidos perturbadores.

15 Frente a ello, la presente invención tiene por misión configurar instalaciones de energía eólica y su funcionamiento de forma todavía más segura y eficaz que hasta ahora.

20 Este problema se resuelve mediante un procedimiento para la vigilancia del ajuste de una pala individual de una instalación de energía eólica que comprende una torre y un rotor dispuesto sobre la torre con al menos dos palas del rotor ajustables individualmente en la inclinación, a las que en cada caso está asociado un accionamiento de la inclinación, en donde por una unidad de control operativa o un control de la inclinación de la instalación de energía eólica se solicita o solicitan un ángulo de paso teórico colectivo para todas las palas del rotor y/o ángulos de paso teóricos individuales para cada una de las palas del rotor individuales, llevándose a cabo una regulación de la inclinación para al menos una pala del rotor en un bucle de regulación de la inclinación, estando asociado a la pala del rotor al menos un observador técnico de regulación que simula un comportamiento de la inclinación dinámico de la pala del rotor y es controlado con los mismos ángulos de paso teóricos que el bucle de regulación de la inclinación y emite un ángulo de paso real simulado, en donde para la al menos una pala del rotor, el valor de paso real simulado del al menos un observador técnico de regulación es comparado con un ángulo de paso real medido y en el caso de una desviación del ángulo de paso real medido del ángulo de paso real simulado que sobrepase un valor de tolerancia, inicia una desconexión por avería de la instalación de energía eólica, caracterizado porque para cada una de las palas del rotor están previstos al menos dos emisores del valor real del ángulo de paso independientes en la técnica de medición entre sí, que en cada caso emiten un ángulo de paso real medido, en donde los al menos dos ángulos de paso real medidos se comparan entre sí y con el correspondiente ángulo de paso real simulado, llevándose a cabo para la vigilancia del o de los emisores del valor real del ángulo de paso una dinamización obligatoria en forma de ajustes regulares de las palas en pequeños valores de ángulo.

35 De acuerdo con una forma de realización ventajosa, el procedimiento está perfeccionado debido a que para cada una de las palas del rotor se lleva a cabo, en cada caso en un bucle de regulación de la inclinación propio, una regulación individual de la inclinación, estando asociado a cada una de las palas del rotor al menos un observador técnico de regulación que simula un comportamiento de inclinación dinámico de la pala del rotor y lo controla con los mismos ángulos de paso teóricos que el bucle de regulación de inclinación respectivo y emite un ángulo de paso real individual simulado, comparándose para todas las palas del rotor el ángulo de paso real individual simulado en cada caso del al menos un observador técnico de regulación con un ángulo de paso real individual medido respectivo, y en el caso de una desviación del ángulo de paso real individual medido del ángulo de paso real individual simulado, que sobrepase un valor de tolerancia, se introduce una desconexión por avería de la instalación de energía eólica.

45 Además, el procedimiento está particularmente perfeccionado de modo que para todas las palas del rotor de la instalación de energía eólica en un bucle de regulación de la inclinación común se lleva a cabo una regulación de la inclinación, estando asociado a las palas del rotor al menos un observador técnico de regulación que simula un comportamiento de inclinación dinámico de todas las palas del rotor y lo controla con los mismos ángulos de paso teóricos que el bucle de regulación de la inclinación y emite un ángulo de paso real simulado, comparándose para todas las palas del rotor el ángulo de paso real simulado del al menos un observador técnico de regulación con un ángulo de paso real individual medido respectivo y, en el caso de una desviación del ángulo de paso real individual medido del ángulo de paso real simulado, que sobrepasa un valor de tolerancia, se introduce una desconexión por avería de la instalación de energía eólica.

55 Con otras palabras, está previsto a elección que para cada una de las palas del rotor se lleve a cabo en cada caso en un bucle de regulación de la inclinación propio una regulación individual de la inclinación o bien que para todas las palas del rotor de la instalación de energía eólica se lleve a cabo una regulación de la inclinación en un bucle de regulación de la inclinación común.

A diferencia del estado conocido de la técnica, por ejemplo del documento WO 2012/079699 A1 antes mencionado, el empleo de al menos un observador técnico de regulación para al menos una pala del rotor, por ejemplo para cada una de las palas del rotor individuales o para todas las palas del rotor de la instalación de energía eólica, para el

control del ángulo de paso real de las palas del rotor posibilita no solo un funcionamiento seguro, sino también un funcionamiento particularmente eficaz. Se posibilita un dimensionamiento más ligero y, por consiguiente, más económico de la instalación de energía eólica, ante todo de la estructura portante. A diferencia del documento WO 2012/079699 A1, lo esencial del empleo no es, no obstante, de manera prioritaria la tolerancia del fallo, sino un reconocimiento particularmente temprano y una prevención de casos de carga por asimetrías de la inclinación mediante una desconexión prematura por avería. Con ello, el procedimiento de acuerdo con la invención no es en sí tolerante de errores.

A diferencia del estado de la técnica en el que una desconexión por avería en casos de inclinaciones fuera de control solo tiene lugar en el caso de posiciones defectuosas de típicamente más de 4° y, por consiguiente, ya en asimetrías considerables de la pala del rotor, en el caso de la vigilancia de acuerdo con la invención el ángulo de paso real medido es comparado con los ángulos de paso reales simulados del observador técnico de regulación. Estos son adaptados, por ejemplo, durante la puesta en funcionamiento de la instalación de energía eólica a las reacciones reales de la pala del rotor respectiva, de manera que pueden proporcionar una predicción muy precisa de cómo se comporte el ángulo de paso real de la pala del rotor real bajo las condiciones reinantes. El ángulo de paso real simulado se encontrará, por lo tanto, mucho más próximo al ángulo de paso real que el ángulo de paso teórico que hasta ahora se utilizó como magnitud comparativa. De manera correspondiente, se puede tomar más estrechamente la tolerancia, por ejemplo en el caso de  $\pm 1,2^\circ$  o menor. Así, un caso de inclinación fuera de control real puede ya reconocerse después de un giro de como máximo 2,4°. Se presenta una asimetría de las palas del rotor claramente menor y controlable que ya solo asciende a 1,2° en lugar de 4° o más. Esto conduce a cargas claramente menores en el caso de la inclinación fuera de control, de modo que la instalación de energía eólica puede dimensionarse claramente más ligera y, con ello, más económica. Esto aumenta de nuevo la eficiencia y rentabilidad de la instalación de energía eólica en conjunto. Con un aumento puro de la tolerancia de errores, no puede alcanzarse este resultado.

En situaciones de poca carga, por ejemplo en el caso de ángulos de paso de las palas del rotor próximas a la posición de bandera, por ejemplo en el caso de 80° o más, puede aumentarse la tolerancia, por ejemplo al triple, por ejemplo a  $\pm 3,5^\circ$ . Así, los observadores técnicos de regulación pueden ser siempre activos y en la zona del conmutador extremo, debido al frenado de la pala, no desencadenar en el conmutador extremo una desconexión por avería innecesaria.

Las tolerancias antes mencionadas se han de tomar únicamente a modo de ejemplo y se han de optimizar por separado para cada tipo de instalación y, eventualmente, cada instalación.

El procedimiento conforme a aspectos de la invención se emplea preferiblemente de manera adicional al procedimiento hasta ahora puesto en práctica de la vigilancia del valor real-valor teórico en la regulación de la inclinación, que sirve entonces como proceso de captación cuando el procedimiento de vigilancia de acuerdo con la invención no hubiera reconocido un caso de avería, por ejemplo debido a una avería del observador técnico de la regulación o debido a otros problemas, por ejemplo en el control del observador técnico de regulación.

Si de manera ventajosa se vigilan adicionalmente valores teóricos que se basan en la regulación de la inclinación particularmente individual, en donde, además, en particular la vigilancia del valor teórico tiene lugar en la góndola y/o en el buje del rotor, se garantiza un aumento significativo adicional de la seguridad de funcionamiento, reducción a largo plazo de las cargas y elevada disponibilidad de funcionamiento. Una vigilancia de los valores teóricos en sí no ha sido hasta ahora llevada a cabo, dado que convencionalmente para la seguridad de funcionamiento de una instalación de energía eólica en el caso del control de la inclinación, la vigilancia de los valores reales representa el criterio decisivo. Valores teóricos defectuosos para los ángulos de paso pueden representar, sin embargo, una posible fuente de errores para el procedimiento conforme a aspectos de la invención. Desconexiones por avería innecesarias pueden manifestarse, por ejemplo, cuando el observador técnico de regulación recibe valores teóricos significativamente diferentes que el regulador de la inclinación. Esto puede manifestarse, por ejemplo, cuando el observador en la unidad operativa de control está dispuesto en la sala de máquinas de la instalación de energía eólica y, por consiguiente, está separado a través de un anillo de bucle del regulador de la inclinación asociado. Por otra parte, esto también puede pasar cuando el observador está incorporado en el buje del rotor, pero se presenta una avería de la señal.

Otra ventaja la tiene la vigilancia del valor teórico, en el sentido de que los valores teóricos en sí son vigilados en cuanto a su conformidad con condiciones de funcionamiento controlables previamente establecidas. Ante todo, cuando los valores teóricos se encuentran dentro de parámetros de funcionamiento controlables de este tipo, se garantiza también que el observador reproduzca el comportamiento del regulador de la inclinación asociado también con tal fidelidad que pueda aplicarse un estrecho intervalo de tolerancia para la comparación del ángulo de paso real simulado y el medido. Así, con una elevada seguridad se garantiza que el procedimiento de acuerdo con la invención no solo mantenga bajas las cargas en la vida de una instalación de energía eólica, sino también que garantice una elevada disponibilidad de la instalación de energía eólica. La instalación de energía eólica puede dimensionarse de manera correspondientemente más económica.

A este respecto, la vigilancia del valor teórico de los ángulos de paso teóricos vigila preferiblemente que los ángulos de paso teóricos individuales se encuentren dentro de un valor de tolerancia de un valor medio de los ángulos de

paso teóricos individuales o de un ángulo de paso teórico colectivo. Con ello se puede mantener controlable toda la asimetría del rotor. Asimetrías del rotor excesivas pueden conducir a estados de funcionamiento con cargas inadmisibles para la instalación de energía eólica. Además, pueden reproducirse malamente con un observador técnico de la regulación.

5 Asimismo de manera ventajosa, en la vigilancia del valor teórico tiene lugar una vigilancia de una tasa de valor teórico colectiva y/o tasas de valores teóricos individuales, debiendo estar en particular la tasa del valor teórico colectiva en un intervalo de  $-5^\circ/s$  a  $+9^\circ/s$ , en particular de  $-3,5^\circ/s$  a  $+7,5^\circ/s$  y/o las tasas de valores reales individuales en un intervalo de  $\pm 0,5^\circ/s$ . Los valores numéricos mencionados se han de entender de forma aditiva, es decir, tasas de valores reales colectivas e individuales son sumadas para el sistema individual de regulación de las palas  
10 individuales. La limitación de la tasa con la que se puede modificar un valor teórico del ángulo de paso garantiza, por una parte, el cumplimiento de estados de carga admitidos para la instalación de energía eólica. Por otra parte, mejoran la precisión de la simulación. Los límites se establecen preferiblemente de modo que siga siendo posible una respuesta lo suficientemente rápida a cargas externas, por ejemplo fuertes ráfagas de viento.

15 Preferiblemente, se vigila un intervalo absoluto del o de los ángulos de paso teóricos, estando el intervalo absoluto, en particular, entre  $-4^\circ$  y  $+96^\circ$ . Con ello, se impide que las palas del rotor sean hechas funcionar en intervalos del ángulo de paso para los que no está diseñada la instalación de energía eólica. Esta forma de vigilancia sirve para el reconocimiento de defectos básicos de software en el sistema de regulación. Los valores angulares arriba mencionados están definidos en el contexto de la presente descripción de manera que el intervalo de ángulos en torno a  $0^\circ$  describe la posición de funcionamiento en carga parcial del rotor y el intervalo en torno a  $90^\circ$  describe la posición de parada, también denominada posición de bandera.  
20

En un perfeccionamiento ventajoso se reduce cuantitativamente una tasa de valor teórico mínima en el caso de ángulos de paso teóricos grandes con respecto a ángulos de paso teóricos pequeños, en particular a menos del 60% de la tasa del valor teórico mínima mayor cuantitativa. La limitación de la tasa del valor teórico mínimo en función del ángulo de la pala, por ejemplo el valor real o teórico promediado, tiene la ventaja de que la tasa de paso  
25 mínima, es decir, el ajuste de la pala en dirección a la posición de funcionamiento se limita de forma restrictiva. Dado que es lo más peligroso en la técnica de cargas, se justifica en este caso una complejidad incrementada. Por motivos aerodinámicos, en este caso se reducen con ángulos de la pala mayores a través de un denominado programa de ganancia las tasas de paso requeridas por el regulador.

30 El o los observadores técnicos de regulación para la al menos una pala del rotor están dispuestos preferiblemente en el buje del rotor y/o en la góndola y/o en la torre. El observador técnico de regulación está implementado, por ejemplo, a uno o varios microprocesadores. Estos están presentes o bien dispuestos, por ejemplo, en una caja del buje y/o en una caja superior en la góndola o también en una caja de la torre o del suelo. La disposición en el buje del rotor tiene la ventaja de que se anulan las averías a través del anillo de bucle entre el buje del rotor y la góndola, mientras que una disposición en la góndola tiene en cuenta averías de este tipo. Una disposición de un observador  
35 en la góndola o en la torre y de otro en el buje del rotor es particularmente ventajosa para un reconocimiento de un fallo. Una disposición de este tipo es particularmente ventajosa, dado que se suprimen averías de transmisión que son condicionadas por el anillo del bucle entre el buje del rotor y la góndola. Dado que el observador está dispuesto directamente en el buje del rotor, se suprime a saber la necesidad de transmitir señales de medición a través del anillo del bucle desde la parte móvil a la parte estacionaria de la instalación.

40 Una elevada disponibilidad con una seguridad de funcionamiento al mismo tiempo además elevada se alcanza ventajosamente cuando para cada una de las palas del rotor estén previstos al menos dos emisores del valor real del ángulo de paso independientes entre sí en la técnica de medición, que en cada caso emiten un ángulo de paso real medido, en donde los al menos dos ángulos de paso real medidos son comparados entre sí y con el correspondiente ángulo de paso real simulado. Emisores del valor real del ángulo de paso de este tipo son, por  
45 ejemplo, un emisor del valor real del ángulo de paso que está presente en el accionamiento de la inclinación y variaciones de la inclinación se calculan a través del número de revoluciones del motor de inclinación. A través de la relación de la transmisión conocida en la transmisión de la inclinación puede determinarse entonces el ángulo de paso actual. Otro emisor del valor real del ángulo de paso puede ejecutar una medición directa del ángulo de paso a través de emisores de giro ópticos o magnéticos en la raíz de la pala del rotor o bien el apoyo de la pala del rotor.  
50 Una diferencia entre los valores de medición de estos dos tipos de emisores del valor real viene condicionada, entre otros, por la holgura de la transmisión o bien la ausencia de engranajes en la transmisión de inclinación. El uso de dos emisores del valor real del ángulo de paso independientes posibilita la identificación de un sensor no defectuoso a través del observador.

55 A este respecto, son posibles de manera ventajosa varias evaluaciones. Dos alternativas ventajosas prevén para ello que en el caso de una desviación significativa de un ángulo de paso real medido se compruebe, tanto por otro ángulo de paso real medido como por el ángulo de paso real simulado, un defecto del emisor de valores reales del ángulo de paso que se desvíe, y/o que en el caso de una coincidencia de los ángulos de paso real medidos entre sí y una desviación simultánea del ángulo de paso real medido del ángulo de paso real simulado se inicie una desconexión por avería. En este caso, tiene lugar una vigilancia mutua de los de los dos ángulos de paso reales  
60 medidos y del ángulo de paso real simulado. En el caso mencionado en primer lugar, que se compruebe un error de un emisor del valor real del ángulo de paso divergente, se aumenta la disponibilidad de la instalación de energía

eólica cuando ventajosamente después de la comprobación de un error de un emisor del valor real del ángulo de paso tenga lugar una conmutación del emisor y se ponga de nuevo en funcionamiento la instalación de energía eólica.

5 Sin que se recurra al observador, también pueden compararse entre sí los dos emisores del valor real de ángulo de paso. En el caso de una desviación de los valores de medición en cada caso determinados puede tener lugar directamente una desconexión por avería.

10 Dado que los emisores del valor real del ángulo de paso habitualmente solo pueden desviarse muy poco entre sí, pueden ajustarse de modo nítido entre sí las desviaciones de los valores de medición de los emisores del valor real del ángulo de paso, por ejemplo a 0,3° hasta 0,8°. Con ello, en el caso de defectos, el emisor del valor real reacciona todavía más rápidamente.

15 En el caso de dos o más emisores del valor real del ángulo de paso se puede estabilizar la regulación cuando los emisores del valor real del ángulo de paso funcionen hasta que se mezclen entre sí los ángulos de paso real medidos para la regulación de la inclinación, en particular individual, para el retorno al bucle de regulación respectivo, en particular con ponderaciones en un intervalo de 70:30 a 30:70, en particular de 50:50. Con ello, los errores de emisores del valor real individuales cargan a la instalación ya solo con un "rendimiento del error" medio. Por ejemplo, la ausencia de engranajes se regula por lo tanto ya a la mitad, sin que el motor de inclinación esté desacoplado del valor real. Esto reduce el estrés para el tramo de regulación.

20 Una regulación segura de la inclinación en el caso de una elevada disponibilidad requiere que funcionen los emisores del valor real del ángulo de paso. Con el fin de garantizar esto, para la vigilancia del o de los emisores del valor real del ángulo de paso se lleva a cabo una dinamización obligatoria en forma de regulaciones de las palas regulares en pequeños valores angulares. Esto significa que los ángulos de paso teóricos son modificados en el funcionamiento continuo en cada caso en pequeños valores, habitualmente fracciones de un grado, y se vigila que el emisor del valor real del ángulo de paso siga también a estas pequeñas variaciones en el marco de la tolerancia del sistema de inclinación. Esto sirve asimismo para la vigilancia de la función básica del sistema de inclinación. Dado que los valores angulares pequeños son claramente menores que las regulaciones en la relación en las reacciones de viento variables o a la regulación de la pala en el giro de la pala del rotor, las pequeñas regulaciones de la pala de la dinamización obligatoria no tienen influencia digna de mención alguna sobre el rendimiento de la potencia.

30 El problema en el que se basa la invención se resuelve también mediante un sistema para la vigilancia del ajuste de una pala individual de una instalación de energía eólica que comprende una torre y un rotor dispuesto sobre la torre con al menos dos palas del rotor ajustables individualmente en la inclinación, a las que en cada caso está asociado un accionamiento de la inclinación, estando configurada una unidad operativa de control o un control de la inclinación de la instalación de energía eólica para solicitar un ángulo de paso teórico colectivo para todas las palas del rotor y/o ángulos de paso teóricos individuales para cada una de las palas del rotor individuales, estando comprendido para al menos una pala del rotor un bucle de regulación de la inclinación, mediante el cual se lleva a cabo una regulación de la inclinación, estando asociado a la pala del rotor al menos un observador técnico de regulación que simula un comportamiento de la inclinación dinámico de la pala del rotor, que es controlado con los mismos ángulos de paso teóricos que el bucle de regulación de la inclinación y que está configurado para emitir un ángulo de paso real simulado, estando comprendido un dispositivo de vigilancia que está configurado para comparar para la al menos una pala del rotor el ángulo de paso real simulado del observador técnico de regulación con un valor de paso real medido y, en el caso de una desviación del ángulo de paso real medido del ángulo de paso real simulado que sobrepase un valor de tolerancia, iniciar una desconexión por avería de la instalación de energía eólica, estando perfeccionado el sistema debido a que para cada una de las palas del rotor están previstos al menos dos emisores del valor real del ángulo de paso independientes en la técnica de medición entre sí, que en cada caso emiten un ángulo de paso real medido, en donde los al menos dos ángulos de paso real medidos se comparan entre sí y con el correspondiente ángulo de paso real simulado, estando configurado el sistema para la vigilancia del o de los emisores del valor real del ángulo de paso para llevar a cabo una dinamización obligatoria en forma de regulaciones regulares de la pala en pequeñas magnitudes angulares.

50 De acuerdo con una forma de realización, el sistema está perfeccionado debido a que para cada una de las palas del rotor está comprendido en cada caso un bucle de regulación de la inclinación propio, mediante el cual se lleva a cabo una regulación de la inclinación individual, estando asociado a cada una de las palas del rotor al menos un observador técnico de regulación que simula un comportamiento de inclinación dinámico de la pala del rotor que es controlado con los mismos ángulos de paso teóricos que el respectivo bucle de regulación de la inclinación y que está configurado para emitir un ángulo de paso real individual simulado, estando comprendido un dispositivo de vigilancia que está configurado para comparar para todas las palas del rotor el ángulo de paso real individual simulado respectivo del observador técnico de regulación con un ángulo de paso real individual medido respectivo y, en el caso de una desviación del ángulo de paso real individual medido del ángulo de paso real individual simulado que sobrepase un valor de tolerancia, iniciar una desconexión por avería de la instalación de energía eólica.

60 Además, en particular, está previsto que el sistema esté perfeccionado de modo que para todas las palas del rotor de la instalación de energía eólica esté comprendido un bucle de regulación de la inclinación común mediante el cual se lleva a cabo una regulación de la inclinación, estando asociado a las palas del rotor al menos un observador

técnico de la regulación que simula un comportamiento dinámico de la inclinación de todas las palas del rotor que es controlado con los mismos ángulos de paso teóricos que el bucle de regulación de la inclinación común y que está configurado para emitir un ángulo de paso real simulado, estando comprendido un dispositivo de vigilancia que está configurado para comparar para todas las palas del rotor el ángulo de paso real simulado del observador técnico de regulación con un ángulo de paso real individual medido respectivo y, en el caso de una desviación del ángulo de paso real individual medido del ángulo de paso real simulado que sobrepase un valor de tolerancia, iniciar una desconexión por avería de la instalación de energía eólica.

Además, la unidad operativa de control o el control de la inclinación de la instalación de energía eólica está configurada o bien diseñada para llevar a cabo una regulación de la inclinación. En este caso, está previsto a elección un bucle de regulación de la inclinación propio para cada una de las palas del rotor o un bucle de la regulación de la inclinación común para todas las palas del rotor de la instalación de energía eólica.

El sistema de acuerdo con aspectos de la invención forma en esencia el procedimiento previamente descrito conforme a aspectos de la invención y, por lo tanto, comparte con el mismo características, propiedades, y ventajas iguales o similares. Para ello, el dispositivo de vigilancia presenta preferiblemente medios y está configurado y diseñado para realizar el procedimiento de acuerdo con la invención previamente mencionado, en donde en particular el dispositivo de vigilancia está integrado en su totalidad o en parte en la realización de funcionamiento y/o en el regulador de la inclinación y/o en el control de las palas individuales de la instalación de energía eólica.

El problema en el que se basa la invención se resuelve, además, mediante una instalación de energía eólica con una torre y un rotor dispuesto sobre la torre con al menos dos palas del rotor regulables en la inclinación individualmente, a las cuales está asociado en cada caso un accionamiento de la inclinación, que está perfeccionado debido a que la instalación de energía eólica comprende un sistema de acuerdo con la invención precedentemente descrito para la vigilancia de una regulación de la pala individual. También la instalación de energía eólica de acuerdo con aspectos de la invención comparte, por consiguiente, ventajas, propiedades y características iguales o similares del procedimiento y del sistema conforme a aspectos de la invención.

Otras características de la invención resultan de la descripción de formas de realización de acuerdo con la invención junto con las reivindicaciones y los dibujos adjuntos. Formas de realización de acuerdo con la invención pueden cumplir características individuales o una combinación de varias características, estando definido el alcance de protección por las reivindicaciones adjuntas.

La invención se describe en lo que sigue sin limitación de la idea general de la invención con ayuda de ejemplos de realización haciendo referencia a los dibujos, en donde en relación con todas las particularidades de acuerdo con la invención no explicadas con mayor detalle en el texto se remite expresamente a los dibujos. Muestran:

La Fig. 1, una representación esquemática de una instalación de energía eólica,

la Fig. 2, una representación esquemática de un sistema de inclinación de un rotor de tres palas,

la Fig. 3, una representación esquemática de un ejemplo de realización de un control de la inclinación,

la Fig. 4, una representación esquemática de un observador técnico de regulación para una regulación de la inclinación,

la Fig. 5, una representación esquemática de un detalle de otro ejemplo de realización de un control de la inclinación,

la Fig. 6, una representación esquemática de un ejemplo de realización de una vigilancia y

la Fig. 7, una representación esquemática de otro ejemplo de realización de una vigilancia.

En los dibujos, elementos y/o partes en cada caso iguales o equivalentes están provistos de los mismos números de referencia, de modo que en cada caso se puede prescindir de una explicación renovada.

La Fig. 1 muestra una representación esquemática de una instalación de energía eólica 10. La instalación de energía eólica 10 presenta una torre 11 y un rotor 12 que comprende tres palas 14 del rotor que están incorporadas en un buje 13 del rotor. El buje 13 del rotor acciona a un generador (no representado) que está dispuesto en una góndola 15 en la punta de la torre 11. En el caso de la incidencia de viento, el rotor 12 gira mediante un giro acimutal de la góndola 15 en el viento. Con ello, puede generarse potencia por el generador y entregarse a una red de usuarios.

La instalación de energía eólica 10 comprende, además, una unidad de control operativa 16 representada esquemáticamente que está realizada en componentes de control electrónicos en la góndola 15 o también en la torre 11 o en el pie de la torre. La unidad de control operativa 16 comprende o comunica con un regulador de la inclinación 17 el cual, por su parte, comprende de nuevo un control 18 de las palas individuales para las palas 14 del rotor. Para ello, la unidad de control operativa 16 transmite al regulador de la inclinación 17 especificaciones para la determinación de un ángulo de paso colectivo para las palas 14 del rotor o un ángulo de paso individual para las

palas 14 del rotor individuales. Además, está previsto un dispositivo de vigilancia 19 para el sistema de regulación de las palas del rotor. El sistema de regulación de las palas del rotor puede estar realizado individualmente, configurado en la unidad de control operativa 16, el regulador de la inclinación 17 o en el control 18 de las palas individuales.

5 Para la regulación de las palas del rotor, el regulador de la inclinación 17 emite ángulos de las palas teóricos para las palas 14 del rotor que están adaptados a la velocidad del viento en ese momento, al número de revoluciones del rotor y a la creación de potencia, así como, eventualmente, a otros parámetros de funcionamiento tales como oscilaciones de la torre, o similares. El control 18 de las palas individuales comprendido en el regulador de la inclinación 17 emite tres ángulos de palas individuales teóricos individuales, con ayuda de los cuales las palas 14 del rotor son ajustadas en su giro. Estos ángulos de las palas individuales teóricos pueden oscilar en torno al ángulo de la pala teórico colectivo. Alternativamente, el regulador de la inclinación 17 o el control 18 de las palas individuales puede también emitir tasas de regulación de las palas o números de revoluciones para los accionamientos de la inclinación 7, que se requieren para acercarse al ángulo de la pala teórico deseado.

15 La Fig. 2 muestra esquemáticamente una vista en un buje 13 del rotor con tres conexiones 70 de las palas del rotor que están dispuestas a distancias angulares de 120° entre sí. A cada una de las conexiones 70 de las palas del rotor está asociado en cada caso un accionamiento de regulación de las palas o bien accionamiento de inclinación 7 que comprende el componente motor de inclinación 71, freno de la inclinación 72 y convertidor de la inclinación 73, que en cada caso están representados esquemáticamente. Los convertidores de la inclinación 73 abastecen a los motores de inclinación 71 en cada caso con corriente continua o alterna, en función del tipo del motor de inclinación 71 como motor CA o CC, con el fin de que estos puedan girar las palas del rotor a las conexiones 70 de las palas del rotor. Los frenos de la inclinación 72 se accionan, es decir, se frenan las palas del rotor cuando los convertidores de la inclinación 73 son desactivados.

20 Los tres convertidores de la inclinación 73 están unidos con un control de la inclinación 17 central, que está unido con una unidad de control operativa 16 no representada y que obtiene requisitos para regulaciones de la inclinación y procura que los accionamientos de inclinación 7 conduzcan a las palas del rotor a la posición de inclinación deseada.

25 Por fuera del buje 13 del rotor están representados adicionalmente posiciones de las palas del rotor, a saber en la parte superior la posición de 12 horas ("12 h"), la posición de 3 horas ("3 h"), la posición de 5 horas ("5 h"), la posición de 6 horas ("6 h"), la posición de 9 horas ("9 h") y la posición de 11 horas ("11 h"). Esto supone una rotación del buje 13 del rotor de acuerdo con la flecha junto a la posición 12 h en el sentido de las agujas del reloj. Las palas 14 del rotor sufren durante el funcionamiento esfuerzos de la gravitación así como de la aerodinámica, que pueden conducir a momentos de torsión y conducir a movimientos dentro de la holgura de la transmisión del accionamiento de inclinación 7. En relación con la dirección de gravitación no representada en la Fig. 2, que mira hacia abajo en la dirección 6 h, las palas del rotor se encuentran en cada caso en la posición 3 h y en la posición 9 h horizontal. Suponiendo que domine el efecto de gravitación, las palas del rotor en las posiciones horizontales están óptimamente establecidas en relación con su posición de inclinación y la holgura de la transmisión por parte de grandes momentos de torsión.

30 Aproximadamente en la posición 5 h y en la posición 11 h se encuentran las palas del rotor adicionalmente en una posición de bajo momento de giro que es ejercido sobre las palas del rotor con relación a su posición de inclinación y, al mismo tiempo, todavía con relación a la holgura o bien con la ausencia de engranajes de una posición definida, dado que las palas proceden de la zona de los grandes momentos de torsión. Por consiguiente, estas posiciones o bien zonas en torno a esta posición son, por ejemplo, ideales para el inicio de la transferencia a la posición de retorno, es decir, para desactivar el convertidor de la inclinación 73 y para frenar las palas del rotor. Las posiciones mencionadas son ideales, dado que la posición en la holgura de la transmisión está inequívocamente definida y, al mismo tiempo, se presentan pequeños momentos de torsión que evitan un resbalamiento durante el frenado del accionamiento de la inclinación. Diferentes geometrías de las palas, así como el dominio de efectos aerodinámicos pueden modificar las posiciones angulares preferidas, de modo que éstas se han de determinar para la respectiva configuración del rotor en cálculos de simulación o mediciones.

35 En la Fig. 3 está representado esquemáticamente un ejemplo de realización de un control de la inclinación de acuerdo con la invención. Detalles individuales del control global no han de entenderse en este caso como limitantes, sino que representan únicamente un ejemplo de posibles unidades de control operativas de una instalación de energía eólica.

En la zona inferior derecha está indicado el rotor 12, el cual es solicitado con viento 1 y controla un generador 63 a través de un engranaje 61 que alimenta, a través de un convertidor 65, potencia a través de una conexión a la red 67 en una red eléctrica no representada.

55 Un primer punto central en el caso de la regulación de la potencia de la instalación de energía eólica es un formador de diferencias 59 que forma una diferencia a partir de un número de revoluciones teórico  $w_n$  y un número de revoluciones real medido  $n$  en el árbol rápido del grupo propulsor entre el engranaje 61 y el generador 63. Este es el comienzo de un tramo de regulación de la potencia. La diferencia entre el número de revoluciones teórico  $w_n$  y el número de revoluciones real  $n$  es introducida a través de un miembro regulador PI 57 y un miembro de limitación 55

en la unidad de control operativa 16 que comprende un control del ángulo de las palas o bien un control de la inclinación.

Como se puede reconocer arriba en la Fig. 3, estos componentes están incorporados en la góndola 15 o bien en una caja superior 35 de la góndola 15. Los otros componentes del sistema de inclinación están incorporados en un control de inclinación 31 en el buje 13 del rotor que está unido a través de un anillo de bucle (también designado transmisor de giro) 33 con la góndola 15.

El control de la inclinación o la unidad de control operativa 16 calcula a partir de la señal de diferencia del número de revoluciones, así como de otros parámetros de funcionamiento e informaciones, un valor de salida de la inclinación  $y_\alpha$  que es introducido en un miembro de retardo de primer orden 53 que proporciona un ángulo de paso teórico  $w_\alpha$  a un formador de diferencia 51 adicional. Esto representa la entrada del tramo de regulación de la inclinación 21. En el formador de diferencia 51 se compara el ángulo de paso teórico  $w_\alpha$  con un ángulo de paso real o bien un valor real del ángulo de paso  $x_{\alpha(A)}$  de un emisor del valor real del ángulo de paso 27 y, a través de un miembro regulador P 49 y un limitador 47, transforma la diferencia en un valor de salida para un número de revoluciones  $y_n$  para un convertidor 45 del accionamiento de la inclinación, el cual comprende en el presente caso un motor de inclinación 43 configurado como motor de corriente continua, un engranaje de la inclinación 41 y el convertidor 45, así como habitualmente un freno de la inclinación no representado. En el contexto de la presente descripción, el convertidor 45 proporciona una corriente continua, siempre que se utilicen o bien sean controlados por éste motores de corriente continua. Asimismo, el convertidor 45 está diseñado para abastecer con corriente alterna a motores de corriente alterna.

El bucle 21 de regulación de la inclinación reacciona de manera que en el caso de desviaciones entre el valor real del ángulo de paso medido  $x_{\alpha(A)}$  y el ángulo de paso teórico  $w_\alpha$  se entrega al convertidor 45 un valor teórico del número de revoluciones, el cual genera a continuación una correspondiente corriente de abastecimiento con la que el motor de inclinación 43 es hecho funcionar. El emisor del valor real 27 entrega al convertidor 45, además, una notificación de retorno sobre el valor real del número de revoluciones  $x_n$  del motor de inclinación 43, de modo que el convertidor 45 puede adaptar a través de la adaptación de la corriente de funcionamiento para el motor de inclinación 43 su número de revoluciones al número de revoluciones teórico del motor de inclinación 43. Aquí, por consiguiente, están imbricados entre sí dos bucles de regulación.

Los bucles 21 de regulación de la inclinación están presentes por sí solos para cada una de las tres palas 14<sup>I</sup>, 14<sup>II</sup> y 14<sup>III</sup> del rotor, de las que sin embargo solamente se representa una a modo de ejemplo.

Adicionalmente al bucle 21 de regulación de la inclinación y a la unidad de control operativa 16 están representados dos observadores 23, 25 técnicos de regulación. Estos pueden estar realizados alternativamente entre sí o realmente ambos. Los observadores 23, 25 técnicos de regulación obtienen por una parte en la góndola y por otra en el buje del rotor los ángulos de paso teórico  $w_\alpha$  o bien  $w'_\alpha$ . Simulan entonces el bucle 21 de regulación de la inclinación adicional y, por consiguiente, el comportamiento real de la regulación de la inclinación, incluidos los tiempos de funcionamiento de la señal. Su salida son valores reales del ángulo de paso simulados  $x_{\alpha(Obs)}$  o bien  $x'_{\alpha(Obs)}$ . En el caso ideal, estos deberían estar muy próximos a los valores reales medidos y quedan reunidos en los dispositivos de vigilancia 19 o bien 19A o, alternativamente, en un único dispositivo de vigilancia, el cual está dispuesto, por ejemplo, en el control de la inclinación en el buje o en la caja superior 35 en la góndola 15. La disposición del dispositivo de vigilancia 19A en el buje 31 del rotor tiene la ventaja de que no han de transmitirse señales a través del anillo del bucle 33. En el o en los dispositivos de vigilancia 19, 19A se comparan los valores reales del ángulo de paso simulados  $x_{\alpha(Obs)}$  o bien  $x'_{\alpha(Obs)}$  con los valores reales del ángulo de paso  $x_{\alpha(A)}$  y  $x_{\alpha(B)}$  del emisor 27, 29 de valores reales del ángulo de paso. Los dispositivos de vigilancia 19, 19A pueden ser parte de la unidad de control operativa 16 y, por consiguiente, en el caso de discrepancias entre los valores reales medidos y los simulados introducir correspondientes medidas hasta la desconexión por avería.

Dado que los observadores 23, 25 pueden simular ciertamente bien las regulaciones de la inclinación de las palas del rotor, puede establecerse muy bien más estrechamente una tolerancia para las desviaciones entre valores reales del ángulo de paso simulados y medidos que en la vigilancia habitual del valor real-valor teórico, por ejemplo  $\pm 1,2^\circ$  o menos en lugar de  $\pm 4^\circ$  o más. Las desconexiones por avería pueden por lo tanto iniciarse esencialmente en una fase más temprana que hasta ahora y, por consiguiente, se pueden reducir fuertemente solicitudes indeseadas, de modo que las instalaciones de energía eólica pueden ser dimensionadas de una forma más ligera que hasta ahora.

La Fig. 4 representa esquemáticamente la estructura en principio de un observador 23, 25 técnico de regulación para una regulación de la inclinación. Se trata esencialmente de un bucle de regulación que toma su inicio con un formador de la diferencia 231 en el que forma una diferencia entre el ángulo de paso teórico  $w_\alpha$ , aplicado desde el exterior, y un ángulo de paso real  $x_{\alpha(Obs)}$  simulado, generado en un circuito de regulación simulado. Esta señal de diferencia es aportada a un miembro regulador proporcional 232, cuya señal de salida es emitida por un miembro de delimitación 233 opcional a un miembro de retardo PT1 de primer orden 234 y, a continuación, es aportado a un miembro de regulación I 235, el cual emite el valor real del ángulo de paso simulado  $x_{\alpha(Obs)}$  el cual sirve, por una parte, como señal de partida del observador 23, 25 técnico de regulación y, por otra parte, lo devuelve al formador de diferencia 231. En este circuito de regulación simulado, el miembro de regulación P 232 corresponde al miembro

de regulación P 49 de la Fig. 3. El miembro de retardo 234 simula el retardo del motor, del rectificador, del engranaje y de la inercia en general, mientras que el miembro de regulación I 235 imita el comportamiento de la pala del rotor en sí que presenta esencialmente una característica I, es decir, el comportamiento en el tiempo de un miembro de regulación I.

5 La adaptación de los parámetros de regulación en los distintos miembros de regulación 232, 233, 234, 235 tiene lugar convenientemente mediante simulación detallada del tramo y mediciones en el campo. Durante la puesta en funcionamiento, por lo tanto cuando todo el personal de la puesta en funcionamiento está en el lugar, ventajosamente los criterios de activación para desconexiones por averías se ajustan de manera más nítida, es decir, más estrecha, que en el funcionamiento propiamente dicho. Esto conduce a que la instalación de energía eólica 10 es muy bien calibrada durante la puesta en funcionamiento y después de realizada la puesta en funcionamiento y de la ampliación de los criterios de activación para desconexiones por avería, no se producen desconexiones por averías frecuentes debido a un sistema de paletas calibrado de manera insuficiente o bien a un observador adaptado de manera insuficiente.

15 La Fig. 5 muestra esquemáticamente un detalle de otro ejemplo de realización de un control de acuerdo con la invención. Se trata de un circuito de suma 81 en el que a partir de los valores reales del ángulo de paso medidos  $x_{\alpha(A)}$  y  $x_{\alpha(B)}$  son reunidos para formar un valor real del ángulo de paso común  $x_{\alpha}$  que es devuelto al bucle 21 de regulación de la inclinación. El dispositivo de vigilancia 19, a elección también la unidad de control operativa 16, tiene en este caso la elección entre diferentes modos de funcionamiento, a saber, un funcionamiento AB 83, en el que se tienen en cuenta los dos emisores de valores de la inclinación 27, 29 reconocidos como en función de sus valores reales medidos en cada caso a la mitad. En este caso, la ponderación puede ajustarse también de manera diferente, por ejemplo con 70:30 o 30:70 u otras correspondientes ponderaciones reconocidas como convenientes.

20 Un funcionamiento B 84 se inicia cuando el emisor del valor real del ángulo de paso 27 es defectuoso. En este caso, se utiliza solo el valor real del ángulo de paso  $x_{\alpha(B)}$  medido. En el caso inverso del funcionamiento A 85, se utiliza solo el otro valor real  $x_{\alpha(A)}$  del ángulo de paso. En el caso de un modo de reposo 86, por ejemplo en el caso de carga parcial, cuando no se lleva a cabo regulación de la inclinación alguna y las palas del rotor están detenidas, se utiliza de nuevo solo el valor real del ángulo de paso  $x_{\alpha(B)}$  del emisor del valor real óptico o magnético 29 en la raíz de la pala del rotor.

25 En las Figuras 6 y 7 se representan esquemáticamente dos ejemplos de realización de vigilancias del valor teórico de acuerdo con la invención. La Fig. 6 muestra el caso de que los distintos valores teóricos del ángulo de paso individual  $w^I_{\alpha}$ ,  $w^II_{\alpha}$  y  $w^III_{\alpha}$  son vigilados en cuanto a la plausibilidad de su valor medio. Para ello, en un formador del valor medio 103 se forma un valor medio de los tres valores teóricos y se somete a una notificación 104 en el tiempo, por ejemplo a lo largo de un espacio de tiempo de 50 ms. La señal de partida del valor medio se disocia a continuación y se conduce, por una parte, sin limitación, y por otra parte, a través de una limitación 105, a un formador de diferencia 106, de modo que la señal de diferencia solo se desvía de 0 cuando la señal real rebasa por encima o rebasa por debajo la limitación 105. La señal de diferencia se conduce a continuación con su valor absoluto 107 a un comparador 108, el cual compara esta señal con un valor límite 109. En el caso de que el valor límite 109 no se haya rebasado por encima, se emite una señal O.K., en el caso de que el valor límite 109 se haya sin embargo rebasado por encima, se emite una señal de alarma 110. Con ello, tiene lugar por consiguiente una vigilancia del valor medio de los valores teóricos individuales.

30 La Fig. 7 representa una vigilancia de los propios valores teóricos individuales. De manera similar a la Fig. 6, para ello se forma un valor medio 103 de los tres valores teóricos y se promedia en el tiempo (104). También se promedian en el tiempo para ello (104) los distintos valores teóricos individuales  $w^I_{\alpha}$ ,  $w^II_{\alpha}$  y  $w^III_{\alpha}$ . Cada uno de estos valores reales individuales promediados en el tiempo se compara entonces en un formador de diferencia 106 con el valor medio de los valores teóricos promediados en el tiempo, de nuevo de esta diferencia se toma la suma absoluta 107 y se compara en un comparador 108 con un valor límite 129, en donde en el caso de rebasarse por encima el valor límite 129 se emite una señal de alarma 110, de lo contrario un estado O.K. Las correspondientes alarmas pueden conducir a una desconexión por avería.

En el marco de la invención, características que se distinguen con "en particular" o "preferiblemente" se han de entender como características facultativas.

50 Lista de símbolos de referencia

- |       |                                 |
|-------|---------------------------------|
| 1     | viento                          |
| 7     | accionamiento de la inclinación |
| 10    | instalación de energía eólica   |
| 11    | torre                           |
| 55 12 | rotor                           |

## ES 2 731 264 T3

	13	buje del rotor
	14, 14 <sup>I-III</sup>	palas del rotor
	15	góndola
	16	unidad operativa de control
5	17	regulador de la inclinación
	18	control de las palas individuales
	19, 19A	dispositivo de vigilancia
	21	bucle de regulación de la inclinación
	23, 25	observador técnico de regulación
10	27, 29	emisor del valor real del ángulo de paso
	31	control de inclinación en el buje
	33	anillo de bucle
	35	caja superior en la góndola
	41	engranaje de la inclinación
15	43	motor de inclinación
	45	convertidor
	47	miembro limitador
	49	regulador P
	51	formador de diferencia
20	53	miembro de retardo
	55	miembro de limitación
	57	miembro regulador PI
	59	formador de diferencia
	61	engranaje
25	63	generador
	65	convertidor
	67	conexión a la red
	70	conexión de las palas del rotor
	71	motor de inclinación
30	72	freno de la inclinación
	73	convertidor de la inclinación
	81	circuito de suma
	83	funcionamiento AB
	84	funcionamiento B
35	85	funcionamiento A
	86	modo de reposo

## ES 2 731 264 T3

	101	vigilancia de la tasa permitida
	102	señales del valor teórico individuales
	103	formación del valor medio
	104	notificación en el tiempo
5	105	miembro de limitación
	106	formador de diferencia
	107	formación del valor absoluto
	108	comparador
	109	valor límite
10	110	señal de alarma
	129	valor límite
	231	formador de diferencia
	232	regulador P
	233	miembro de delimitación
15	234	miembro de retardo
	235	regulador I

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la vigilancia del ajuste de una pala individual de una instalación de energía eólica (10) que comprende una torre (11) y un rotor (12) dispuesto sobre la torre (11) con al menos dos palas (14) del rotor ajustables individualmente en la inclinación, a las que en cada caso está asociado un accionamiento (7) de la inclinación, en donde por una unidad de control operativa (16) o un control de la inclinación de la instalación de energía eólica (10) se solicita o solicitan un ángulo de paso teórico colectivo para todas las palas (14) del rotor y/o ángulos de paso teóricos individuales para cada una de las palas (14) del rotor individuales, llevándose a cabo una regulación de la inclinación para al menos una pala (14) del rotor en un bucle (21) de regulación de la inclinación, estando asociado a la pala (14) del rotor al menos un observador (23, 25) técnico de regulación que simula un comportamiento de la inclinación dinámico de la pala (14) del rotor y es controlado con los mismos ángulos de paso teóricos que el bucle (21) de regulación de la inclinación y emite un ángulo de paso real simulado, en donde para la al menos una pala (14) del rotor, el valor de paso real simulado del al menos un observador (23, 25) técnico de regulación es comparado con un ángulo de paso real medido y en el caso de una desviación del ángulo de paso real medido del ángulo de paso real simulado que sobrepase un valor de tolerancia, inicia una desconexión por avería de la instalación de energía eólica (10), caracterizado por que para cada una de las palas (14) del rotor están previstos al menos dos emisores (27, 29) del valor real del ángulo de paso independientes en la técnica de medición entre sí, que en cada caso emiten un ángulo de paso real medido, en donde los al menos dos ángulos de paso real medidos se comparan entre sí y con el correspondiente ángulo de paso real simulado, llevándose a cabo para la vigilancia del o de los emisores (27, 29) del valor real del ángulo de paso una dinamización obligatoria en forma de ajustes regulares de las palas en pequeños valores de ángulo.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que para cada una de las palas (14) del rotor se lleva a cabo, en cada caso en un bucle (21) de regulación de la inclinación propio, una regulación individual de la inclinación, estando asociado a cada una de las palas (14) del rotor al menos un observador (23, 25) técnico de regulación que simula un comportamiento de inclinación dinámico de la pala (14) del rotor y lo controla con los mismos ángulos de paso teóricos que el bucle (21) de regulación de inclinación respectivo y emite un ángulo de paso real individual simulado, comparándose para todas las palas (14) del rotor el ángulo de paso real individual simulado en cada caso del al menos un observador (23, 25) técnico de regulación con un ángulo de paso real individual medido respectivo, y en el caso de una desviación del ángulo de paso real individual medido del ángulo de paso real individual simulado, que sobrepase un valor de tolerancia, se introduce una desconexión por avería de la instalación de energía eólica (10).
3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que para todas las palas (14) del rotor de la instalación de energía eólica (10) en un bucle (21) de regulación de la inclinación común se lleva a cabo una regulación de la inclinación, estando asociado a las palas (14) del rotor al menos un observador (23, 25) técnico de regulación que simula un comportamiento de inclinación dinámico de todas las palas (14) del rotor y lo controla con los mismos ángulos de paso teóricos que el bucle (21) de regulación de la inclinación y emite un ángulo de paso real simulado, comparándose para todas las palas (14) del rotor el ángulo de paso real simulado del al menos un observador (23, 25) técnico de regulación con un ángulo de paso real individual medido respectivo y, en el caso de una desviación del ángulo de paso real individual medido del ángulo de paso real simulado, que sobrepasa un valor de tolerancia, se introduce una desconexión por avería de la instalación de energía eólica (10).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que adicionalmente se vigilan valores teóricos que se fundamentan en la regulación de la inclinación, en particular individual, teniendo lugar, además, en particular la vigilancia del valor teórico en la góndola (15) y/o en el buje (13) del rotor, en donde en particular en la vigilancia del valor teórico se vigila que el ángulo de paso teórico individual se encuentre dentro de un valor de tolerancia de un valor medio del ángulo de paso teórico individual o de un ángulo de paso teórico colectivo y/o en la vigilancia del valor teórico tenga lugar una vigilancia de una tasa de valor teórico colectivo y/o de tasas de valor teórico individuales, en donde en particular la tasa de valor teórico colectivo debería estar en un intervalo de  $-3^\circ/s$  a  $+6^\circ/s$  y/o las tasas de valor teórico individuales deberían estar en un intervalo de  $\pm 0,5^\circ/s$ .
5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que se vigila un intervalo absoluto del o de los ángulos de paso teóricos, estando el intervalo absoluto, en particular, entre  $-4^\circ$  y  $+96^\circ$ .
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que se reduce cuantitativamente una tasa de valor teórico mínima en el caso de ángulos de paso teóricos grandes con respecto a ángulos de paso teóricos pequeños, en particular a menos del 60% de la tasa del valor teórico mínima mayor cuantitativa.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que el(los) observador(es) (23, 25) técnico(s) de regulación para la al menos una pala (14) del rotor está(n) dispuestos en el buje (13) del rotor y/o en la góndola (15) y/o en la torre (11).
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que en el caso de una desviación significativa de un ángulo de paso real medido se compruebe, tanto por otro ángulo de paso real medido como por el ángulo de paso real simulado, un defecto del emisor de valores reales del ángulo de paso que se desvíe, y/o por que en el caso de una coincidencia de los ángulos de paso real medidos entre sí y una desviación simultánea del ángulo

de paso real medido del ángulo de paso real simulado se inicia una desconexión por avería, en el que, además, en particular después de comprobar un error de un emisor (27, 29) del valor real del ángulo de paso, tiene lugar una conmutación del emisor y se pone de nuevo en funcionamiento la instalación de energía eólica (10).

5 9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que se mezclan entre sí los ángulos de paso real medidos para la regulación de la inclinación, en particular individual, para el retorno al bucle (21) de regulación respectivo, en particular con ponderaciones en un intervalo de 70:30 a 30:70, en particular de 50:50.

10. Sistema para la vigilancia del ajuste de una pala individual de una instalación de energía eólica (10) que comprende una torre (11) y un rotor (12) dispuesto sobre la torre (11) con al menos dos palas (14) del rotor ajustables individualmente en la inclinación, a las que en cada caso está asociado un accionamiento (7) de la inclinación, estando configurada una unidad operativa de control (16) o un control de la inclinación de la instalación de energía eólica (10) para solicitar un ángulo de paso teórico colectivo para todas las palas (14) del rotor y/o ángulos de paso teóricos individuales para cada una de las palas (14) del rotor individuales, estando comprendido para al menos una pala (14) del rotor un bucle (21) de regulación de la inclinación, mediante el cual se lleva a cabo una regulación de la inclinación, estando asociado a la pala (14) del rotor al menos un observador (23, 25) técnico de regulación que simula un comportamiento de la inclinación dinámico de la pala (14) del rotor, que es controlado con los mismos ángulos de paso teóricos que el bucle (21) de regulación de la inclinación y que está configurado para emitir un ángulo de paso real simulado, estando comprendido un dispositivo de vigilancia (19, 19A) que está configurado para comparar para la al menos una pala (14) del rotor el ángulo de paso real simulado del observador (23, 25) técnico de regulación con un valor de paso real medido y, en el caso de una desviación del ángulo de paso real medido del ángulo de paso real simulado que sobrepase un valor de tolerancia, iniciar una desconexión por avería de la instalación de energía eólica (10), caracterizado por que para cada una de las palas (14) del rotor están previstos al menos dos emisores (27, 29) del valor real del ángulo de paso independientes en la técnica de medición entre sí, que en cada caso emiten un ángulo de paso real medido, en donde los al menos dos ángulos de paso real medidos se comparan entre sí y con el correspondiente ángulo de paso real simulado, estando configurado el sistema para la vigilancia del o de los emisores (27, 29) del valor real del ángulo de paso para llevar a cabo una dinamización obligatoria en forma de regulaciones regulares de la pala en pequeñas magnitudes angulares.

11. Sistema según la reivindicación 10, caracterizado por que cada una de las palas (14) del rotor está comprendido en cada caso un bucle (21) de regulación de la inclinación propio, mediante el cual se lleva a cabo una regulación de la inclinación individual, estando asociado a cada una de las palas (14) del rotor al menos un observador (23, 25) técnico de regulación que simula un comportamiento de inclinación dinámico de la pala (14) del rotor que es controlado con los mismos ángulos de paso teóricos que el respectivo bucle (21) de regulación de la inclinación y que está configurado para emitir un ángulo de paso real individual simulado, estando comprendido un dispositivo de vigilancia (19, 19A) que está configurado para comparar para todas las palas (14) del rotor el ángulo de paso real individual simulado respectivo del observador (23, 25) técnico de regulación con un ángulo de paso real individual medido respectivo y, en el caso de una desviación del ángulo de paso real individual medido del ángulo de paso real individual simulado que sobrepase un valor de tolerancia, iniciar una desconexión por avería de la instalación de energía eólica (10).

12. Sistema según la reivindicación 10, caracterizado por que para todas las palas (14) del rotor de la instalación de energía eólica (10) está comprendido un bucle (21) de regulación de la inclinación común mediante el cual se lleva a cabo una regulación de la inclinación, estando asociado a las palas (14) del rotor al menos un observador (23, 25) técnico de regulación que simula un comportamiento dinámico de la inclinación de todas las palas (14) del rotor que es controlado con los mismos ángulos de paso teóricos que el bucle (21) de regulación de la inclinación común y que está configurado para emitir un ángulo de paso real simulado, estando comprendido un dispositivo de vigilancia (19, 19A) que está configurado para comparar para todas las palas (14) del rotor el ángulo de paso real simulado del observador (23, 25) técnico de regulación con un ángulo de paso real individual medido respectivo y, en el caso de una desviación del ángulo de paso real individual medido del ángulo de paso real simulado que sobrepase un valor de tolerancia, iniciar una desconexión por avería de la instalación de energía eólica (10).

13. Sistema según una de las reivindicaciones 10 a 12, caracterizado por que el dispositivo de vigilancia (19, 19A) presenta medios, está configurado y diseñado para llevar a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, en donde el dispositivo de vigilancia (19, 19A) está integrado en su totalidad o en parte en la unidad de control operativa (16) y/o en el regulador de la inclinación (17) y/o en el control (18) de las palas individuales de la instalación de energía eólica (10).

14. Instalación de energía eólica (10) con una torre (11) y un rotor (12) dispuesto sobre la torre (11), con al menos con al menos dos palas (14) del rotor ajustables individualmente en la inclinación, a las que en cada caso está asociado un accionamiento (7) de la inclinación, caracterizada por que la instalación de energía eólica (10) comprende un sistema para la vigilancia del ajuste de una pala individual según una de las reivindicaciones 10 a 13.

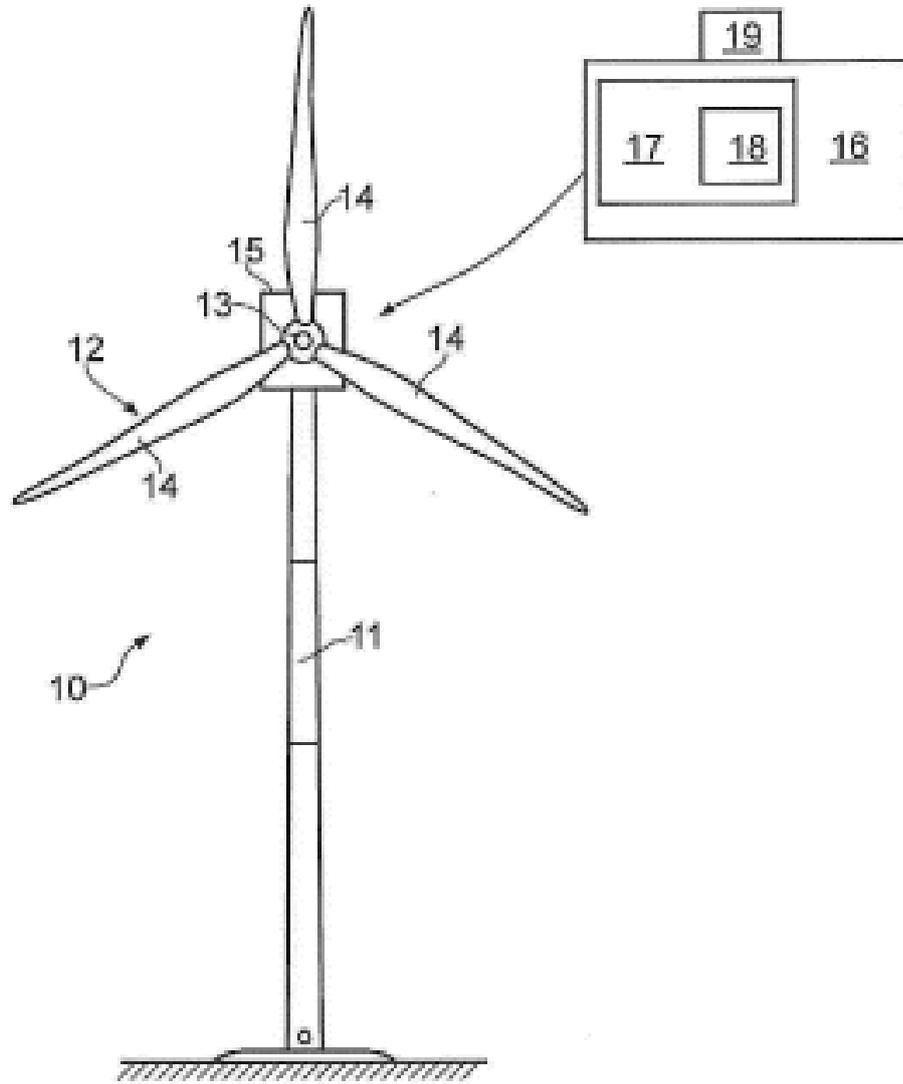


FIG. 1

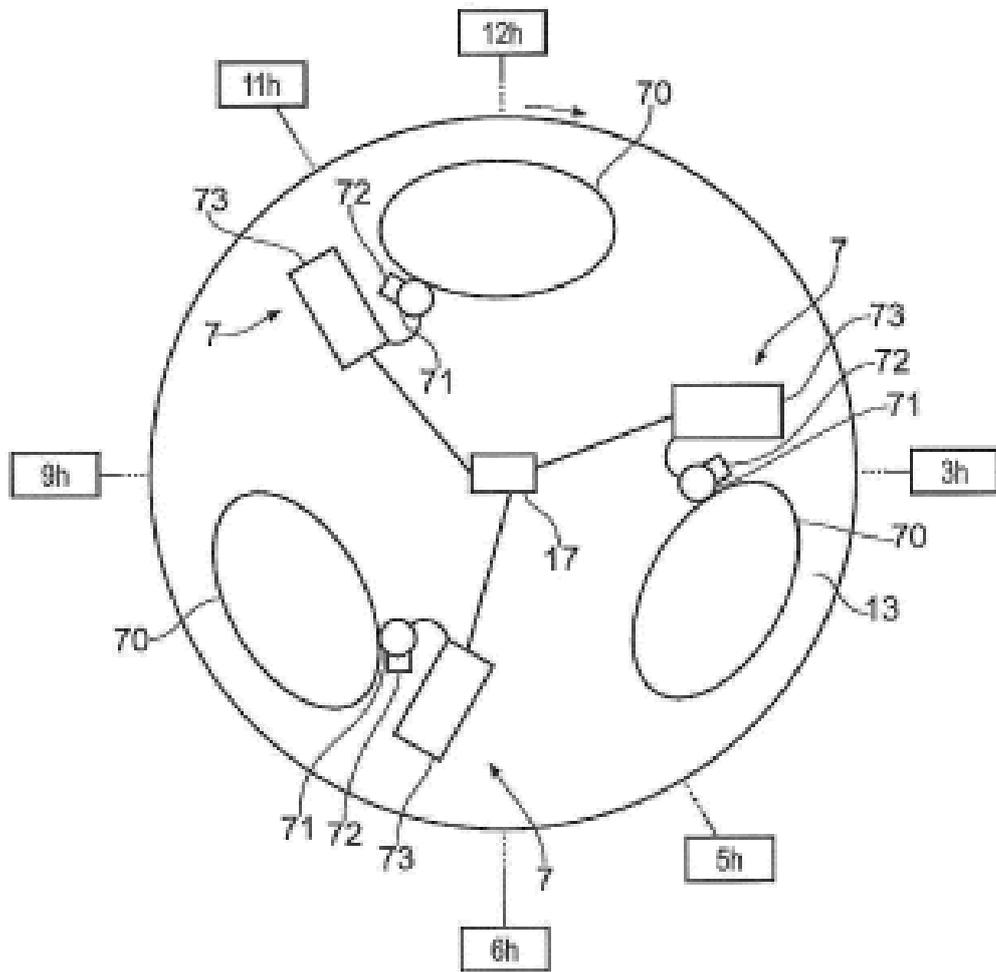


FIG. 2

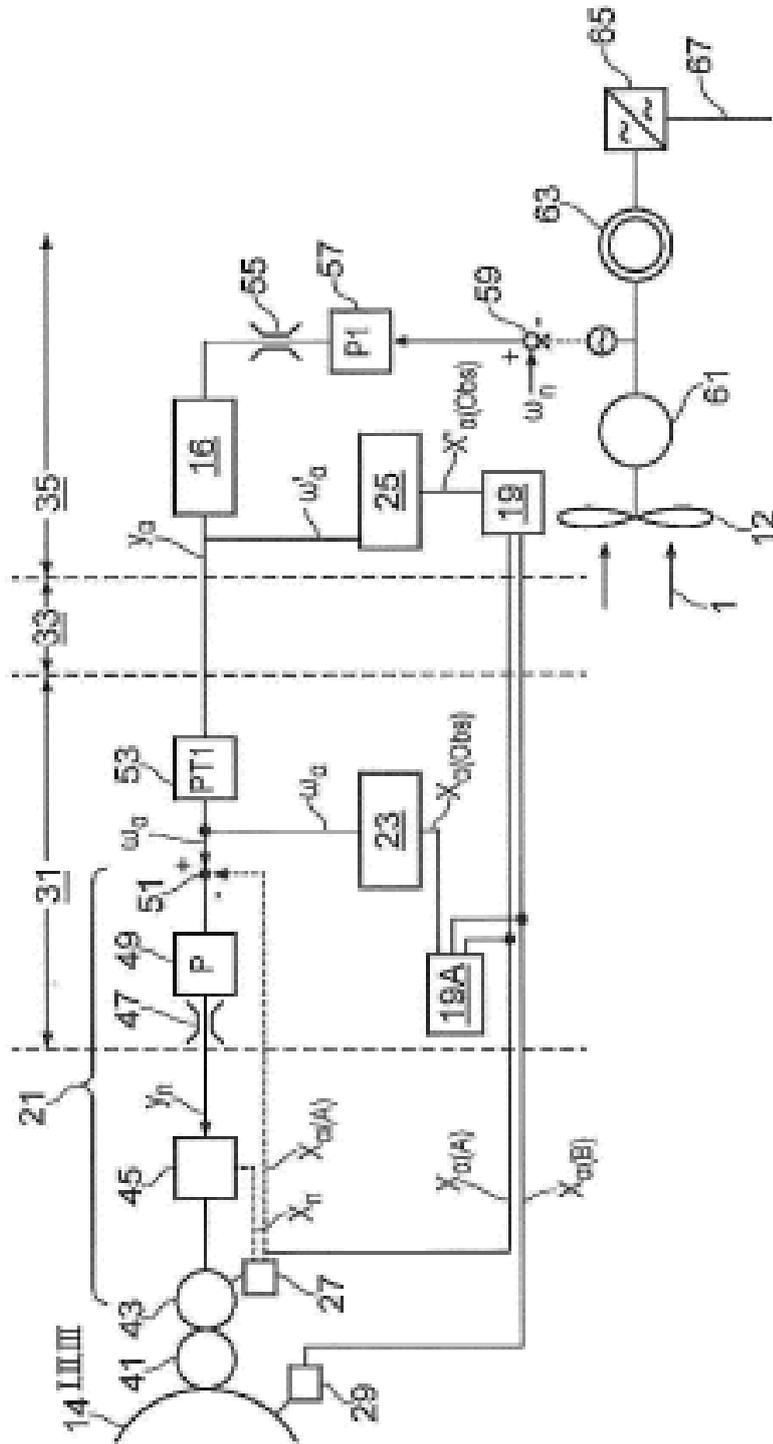


FIG. 3

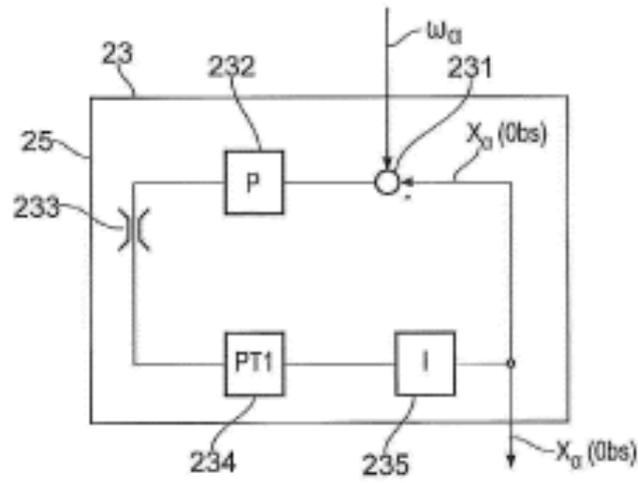


FIG. 4

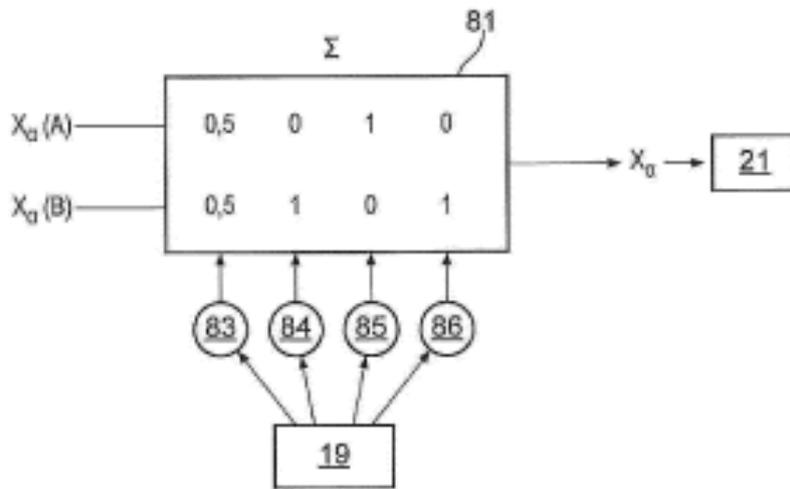


FIG. 5

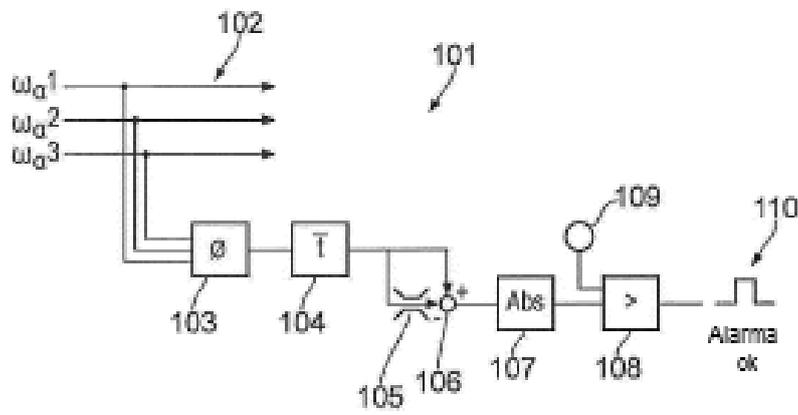


FIG. 6

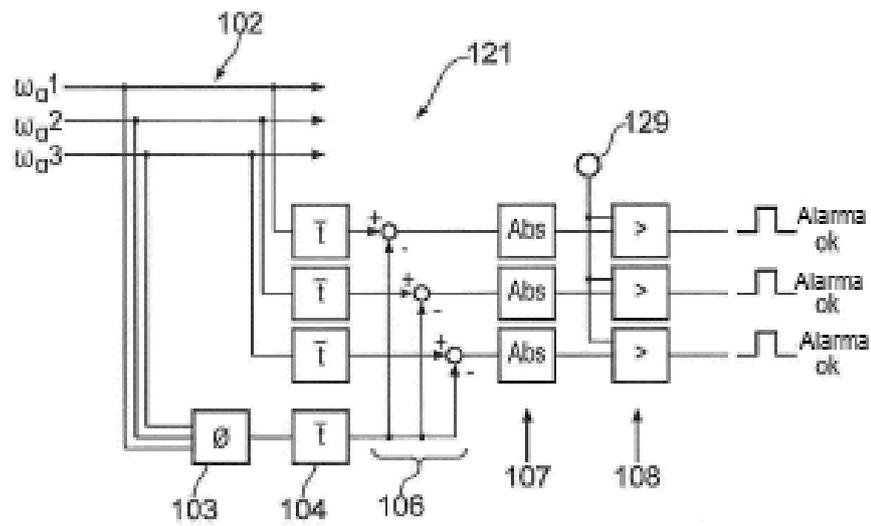


FIG. 7