

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 671 483**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.07.2016** **E 16181623 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.03.2018** **EP 3130798**

54 Título: **Procedimiento para controlar accionamientos de paso de una instalación de energía eólica, dispositivo de control e instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

12.08.2015 DE 102015010227

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.06.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**WARFEN, KARSTEN;
BEHL, STEFAN y
HÖR, OLIVER**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 671 483 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 para controlar accionamientos de paso de una instalación de energía eólica, dispositivo de control e instalación de energía eólica.

La invención concierne a un procedimiento para controlar accionamientos de paso de una instalación de energía eólica con un rotor dotado de al menos dos palas de rotor de paso individualmente regulable, a cada de las cuales está asociado un accionamiento de paso que comprende un motor de paso, un freno de paso y un convertidor de paso, en el que las palas del rotor, al pasar de una zona de plena carga de paso regulado a una zona de carga parcial, se transfiere a una situación de reposición en la que dichas palas son frenadas por medio de los frenos de paso bajo un ángulo de paso predeterminado o predeterminable y en la que se desactivan los convertidores de paso. La invención concierne también a un dispositivo de control para accionamientos de paso de una instalación de energía eólica, así como a una instalación de energía eólica.

En el marco de la presente solicitud se entiende por el término "paso" el ángulo de palas de rotor angularmente ajustables de instalaciones de energía eólica. Los accionamientos de paso, llamados también accionamientos de regulación de palas, sirven para variar el ángulo de ajuste de las palas del rotor, usualmente entre una posición de funcionamiento que está en o casi en un ajuste a 0°, y una llamada "posición de bandolera" o "ajuste a 90°", en la que las palas del rotor están giradas hacia fuera del viento y la instalación de energía eólica ofrece una superficie de ataque mínima al viento que afluye desde delante, para poner el rotor en una situación de ausencia de par de giro producido por el viento. Una regulación individual del paso significa que cada accionamiento de paso mueve una pala del rotor y puede ser activado individualmente. Un control central del paso puede proporcionar valores de consigna comunes a los tres accionamientos de paso, pero también dirigir cada pala del rotor con independencia de las demás palas del rotor.

Los accionamientos de paso correspondientes comprenden un motor de paso eléctrico, llamado también motor de regulación de pala, que es accionado por una electrónica de potencia, especialmente un convertidor de frecuencia, y que, en la zona de una conexión de pala de rotor al cubo, ataca en la raíz de la pala de rotor y hace usualmente que gire la pala del rotor alrededor de su eje longitudinal por medio de un engranaje. Tales accionamientos de paso son conocidos, por ejemplo, por el documento US 2009/0148286 A1.

En un rango de plena carga, es decir, con fuerzas del viento o velocidades del viento a las que la instalación de energía eólica ha alcanzado su potencia nominal, la regulación de la potencia se efectúa mediante una regulación del ángulo de las palas o una regulación del paso.

En el rango de carga parcial a pequeñas velocidades del viento por debajo de la potencia nominal de la instalación de energía eólica se ajustan las palas del rotor a la posición de 0° o a una posición cercana a 0° y se frenan dichas palas por medio de un freno de paso que está asentado sobre el eje del motor de paso. El funcionamiento de la instalación de energía eólica en el rango de carga parcial puede durar desde horas hasta días en los que no se necesitan los accionamientos de paso. Los convertidores de paso, es decir, los convertidores para los motores de paso, pueden en este caso ponerse en sueño o desactivarse y consumen entonces tan solo muy poca corriente eléctrica. El accionamiento de paso está sin potencia en este caso. Para el funcionamiento de regulación se tienen que despertar los accionamientos de paso, lo que conduce usualmente tan solo a un retardo de fracciones de segundo.

Un espacio de tiempo crítico en funcionamiento es el tiempo que sigue inmediatamente después de la desactivación de los convertidores de paso. Éstos presentan un "tiempo precario" de dos milisegundos a dos segundos, en los que su estado no está completamente activado ni tampoco completamente desactivado. Cuando se solicita un funcionamiento de regulación dentro de este tiempo precario por un sistema de gestión del funcionamiento de la instalación de energía eólica, esto puede ocasionar considerables problemas y conducir a que se caiga el software del convertidor de paso. En este caso, el eje de paso correspondiente falla entonces completamente en motores de CA, mientras que en accionamientos de CC se puede seguir empleando entonces solamente el funcionamiento no regulado por acumulador eléctrico (marcha de emergencia), en el que, con independencia del convertidor, la pala del rotor es llevada sin regulación a la posición de bandolera, efectuándose el suministro de corriente por medio de un acumulador eléctrico.

La solicitud de un funcionamiento de regulación en el momento del frenado y la desconexión de los distintos convertidores de paso se efectúan usualmente en respuesta a una ráfaga de viento o bien debido a un aumento moderado del viento, casi siempre en el rango límite entre el rango de carga parcial y el rango de plena carga. En este caso, se tiene que solicitar de nuevo inmediatamente el funcionamiento de regulación. Si la ráfaga o el aumento del viento llega únicamente algunos segundos, minutos u horas después de la desconexión de los convertidores de paso, no se conocen entonces fallos. El caso temporalmente más desfavorable es el de que se necesita nuevamente el funcionamiento de regulación en aproximadamente 0 a 1 segundo después del frenado. Esto se presenta con bastante frecuencia en torno al viento nominal, es decir, a la velocidad del viento a la que se alcanza la potencia nominal de la instalación de energía eólica. En este rango de tiempo precario pueden quedar "colgados" los convertidores de paso en algunos casos, con lo que no se desarrollan bien la parada y el arranque en el rango de

milisegundos.

Una medida conocida para impedir esto consiste en incorporar en el firmware del convertidor de paso un retardo de liberación del regulador después de procesos de desconexión. Por tanto, no se acogen ni ejecutan en absoluto solicitudes de regulación dentro del tiempo precario, con lo que el convertidor de paso tiene tiempo suficiente para llegar con seguridad al estado desactivado. Únicamente después se activa de nuevo con seguridad el convertidor de paso. Esta medida utilizada en el convertidor de paso significa que las palas, después de una orden de reposición, tienen siempre al menos un segundo de pausa antes de la solicitud de un funcionamiento de regulación. Esto es dimensionalmente exigente en el caso de ráfagas con una distribución de tiempos desfavorable, es decir que la instalación de energía eólica tiene que construirse con una mayor masa correspondiente para aguantar tales casos de carga.

Por otro lado, la renuncia a esta pausa en los convertidores del paso significa que varias palas pueden carecer al mismo tiempo de un par de giro proveniente del accionamiento de paso, sin que los convertidores de paso correspondientes emitan un aviso de avería. En los sistemas de paso de la solicitante se acoge este caso en el transcurso ulterior a través de la marcha de emergencia o la marcha con acumulador eléctrico. Se originan así ciertamente altas cargas, pero no se produce una escalada crítica con superación de cargas extremas. Sin embargo, estas cargas son poco tolerables, ya que también son dimensionalmente exigentes.

Frente a esto, la presente invención se basa en el problema de materializar un funcionamiento seguro con bajos requisitos impuestos al dimensionamiento de la instalación de energía eólica.

Este problema se resuelve con un procedimiento para controlar accionamientos de paso de una instalación de energía eólica con un rotor dotado de al menos dos palas de paso individualmente regulable, a cada una de las cuales está asociado un accionamiento de paso que comprende un motor de paso, un freno de paso y un convertidor de paso, en el que las palas del rotor, al pasar de un rango de plena carga de paso regulado a un rango de carga parcial, se transfieren a una situación de reposición en la que son frenadas por medio de los frenos de paso a un ángulo de paso existente o predeterminado y se desactivan los convertidores de paso, cuyo procedimiento se ha perfeccionado en el sentido de que los convertidores de paso de las al menos dos palas de rotor se desactivan sucesivamente en una secuencia temporal, presentando la secuencia siempre un tiempo de espera entre dos desactivaciones consecutivas.

La invención se basa en la idea fundamental de que el caso descrito de una ráfaga con una solicitud de regulación que llega en el tiempo precario de los dos o más convertidores de paso de los accionamientos de paso, representa un llamado "common cause failure" (CCF), es decir, una causa común para múltiples fallos de componentes del sistema. Debido a la puesta en sueño o desactivación temporalmente decalada de los convertidores de paso se excluye esta causa de fallo común y a lo sumo se sigue afectando a un accionamiento de paso. Al mismo tiempo, la invención se sirve del conocimiento de que la instalación de energía eólica puede seguir siendo llevada con seguridad y sin elevadas exigencias impuestas al dimensionamiento a un estado seguro incluso cuando falla no más de un accionamiento de paso. Este caso se tiene en cuenta ya preferiblemente de todos modos en el dimensionamiento de la instalación de energía eólica.

En el marco de la invención se entiende por ángulo de paso existente preferiblemente un ángulo de paso actual.

El tiempo de espera entre la puesta en sueño o desactivación temporalmente decalada de los tres accionamientos de paso se elige mayor que el tiempo precario de los respectivos convertidores de paso. De esta manera, solamente un sistema convertidor de paso se encuentra siempre en la fase "crítica" o "precaria". Resultan así tres casos de funcionamiento posibles después de la solicitud de una desactivación de los convertidores de paso. En el primer caso, se regulan todavía dos palas, mientras que una de ellas es transferida a la situación de reposición. Las dos palas de rotor en fase de regulación pueden reaccionar rápidamente entonces a una solicitud de regulación de paso, que se denomina también solicitud de regulación. En el segundo caso, se regula todavía una pala y otra pala se encuentra ya en situación de reposición durante más tiempo que el tiempo precario y puede reanudar también espontáneamente el funcionamiento, con solo milisegundos de retardo. En el tercer caso, ambas palas de rotor se encuentran ya desactivadas durante más tiempo que el tiempo precario y pueden reactivarse rápidamente, es decir, dentro de milisegundos, y aceptar órdenes. En todos estos casos, dos palas de rotor pueden aceptar órdenes con rapidez y sin fallos. Si se produce una solicitud de regulación en el tiempo de espera entre dos desactivaciones después de transcurrido el tiempo precario del convertidor de paso últimamente desactivado, incluso los tres accionamientos de paso están disponibles nuevamente para la regulación del paso inmediatamente o al cabo de algunos milisegundos. De esta manera, el riesgo de fallo de paso existente se reduce con seguridad a una pala de rotor.

El procedimiento según la invención se implementa o realiza preferiblemente en el marco de un control o regulación de paso dirigido a la seguridad. Con control dirigido a la seguridad o control de seguridad se denominan en la técnica de control unos controles especiales que, gracias a unas propiedades particulares, son especialmente adecuados para su uso en aplicaciones críticas para la seguridad. Se prefiere especialmente aquí una realización en la que el procedimiento se pone en práctica por medio de un control de seguridad según IEC 61508/IEC61511 con

un nivel de seguridad-integridad (SIL) SIL2 o SIL3, que se dispone en el cubo del rotor de la instalación de energía eólica. La ventaja de disponer el control de seguridad en el cubo reside en que, en caso de malfuncionamiento de un sistema de gestión de funcionamiento de rango superior, el control de seguridad tiene entonces un acceso directo a los convertidores de paso y, por tanto, puede superar de manera sencilla los fallos funcionales del sistema de gestión del funcionamiento. Asimismo, el control de seguridad está dispuesto en el cubo en la proximidad inmediata de los convertidores de paso, con lo que, debido a la corta vía de comunicación, existe solamente un riesgo mínimo referente a fallos de comunicación, especialmente en comparación con un sistema en el que la comunicación del control al convertidor de paso se realiza a través de un anillo rozante o un trayecto de comunicación inalámbrico.

Otra medida que puede realizarse ventajosamente en el marco de la presente invención es una regulación de paso redundante en la que se realizan en paralelo operaciones de cálculo por al menos dos procesadores y, en caso de divergencias, se introduce un estado seguro de la instalación de energía eólica. Las alternativas de esta actuación incluyen el funcionamiento de dos procesadores con tareas idénticas que se controlan mutuamente o que se controlan por medio de un tercer procesador, o el funcionamiento de tres procesadores con tareas idénticas, aplicándose, en caso de divergencias de los resultados, el principio de la mayoría para decidir qué resultado se emplea. La última alternativa ofrece una ventaja para la disponibilidad de la instalación de energía eólica.

Preferiblemente, la desactivación de los convertidores de paso comprende una desconexión o una transposición a un estado de sueño.

Con estado de sueño del convertidor de paso se define en este documento un estado en el que el consumo de energía propia del convertidor se ha reducido considerablemente, en particular en más de un 90%, por debajo del consumo del funcionamiento normal.

El tiempo de espera durante la desactivación consecutiva de convertidores de paso es preferiblemente mayor que el tiempo precario de los convertidores de paso, en el que no está garantizado un retorno seguro de la desactivación al funcionamiento, estando comprendido el tiempo de espera especialmente entre 1,5 y 12 segundos, especialmente ascendiendo a 2 segundos o más. La desconexión o desactivación de los convertidores de paso y el frenado de las palas del rotor se efectúan preferiblemente cuando el valor nominal del paso no varía, por ejemplo, durante más de 30 s o durante más de 1 min. En general, esto se presenta en el rango de la posición de funcionamiento, es decir, con ángulos de paso comprendidos entre -2° y $+6^\circ$, pero puede presentarse también con ángulos de pala netamente mayores, por ejemplo durante el funcionamiento en barrena y/o con viento en calma.

El procedimiento experimenta un perfeccionamiento ventajoso cuando los convertidores de paso no reciben o procesan solicitudes de regulación después de su desactivación dentro de un tiempo de espera de regulación que es igual que el tiempo precario o más largo que el tiempo precario, especialmente igual al tiempo de espera. Esto significa que los convertidores de paso están organizados de modo que no reaccionen dentro del tiempo precario a consultas de regulación o de control y, por tanto, no pueda originarse en absoluto un estado inseguro, o bien el sistema de gestión del funcionamiento o la regulación del paso no retransmitan tales consultas de regulación al convertidor de paso recién desactivado. Por tanto, siguen existiendo los casos anteriormente descritos, con la diferencia de que en este caso los convertidores de paso no reaccionan ciertamente tampoco durante el tiempo precario, pero están protegidos contra su entrada, debido a una consulta de regulación, en un estado de funcionamiento "colgado". La regulación del paso de la pala de rotor afectada puede reanudarse entonces después de transcurrido el tiempo precario.

Una desactivación de los convertidores o de un convertidor es poco crítica en materia de tiempo; son aceptables grandes tiempos de espera. En sentido contrario, es decir, durante la activación de un convertidor, esto tiene que efectuarse con la mayor rapidez posible. Por tanto, la activación se efectúa solamente en forma retardada por el tiempo precario.

Durante la desactivación el tiempo de espera es, preferiblemente por seguridad, mayor que el tiempo precario.

Cuando las palas deban frenarse en forma sincrónicamente posicionada, esto se efectúa preferiblemente en la misma posición de dichas palas, referido al giro del rotor. Esto puede efectuarse en una forma de realización con un tiempo de espera constante y con el mismo número de revoluciones. Por tanto, esto tiene lugar preferiblemente a un número de revoluciones nominal. En este caso, el tiempo de espera puede considerarse como el tiempo de espera para posicionamiento. Durante el funcionamiento de carga parcial con número de revoluciones reducido se modifica, preferiblemente se eleva, el tiempo de espera en función del número de revoluciones. La desactivación se efectúa del modo más exacto y preferiblemente por medio de la señal de un sensor de posición después de transcurrido el tiempo precario, es decir, sin tiempo de espera, solamente disparada por el sensor de posición. Por tanto, en rotores grandes a número de revoluciones de carga parcial el tiempo de espera puede ascender ya a más de 10 s.

Cuando la transferencia de las palas del rotor a la situación de reposición comienza preferiblemente siempre en una posición predeterminada o predeterminable del rotor, especialmente en la posición a las 5 horas o en la posición a las 11 horas de la respectiva pala del rotor, se obtiene la ventaja de que para la fase larga del funcionamiento de carga parcial se frenan las palas del rotor con una excitación fundamental lo menos aerodinámica posible y, por

tanto, se ajustan entre ellas pequeñas divergencias de ángulo de pala. Por ejemplo, en la posición a las 5 horas y con un momento de torsión de pala moderada se posiciona ya claramente la pala del rotor, a partir de su paso por la posición a las 3 horas, en el estado de ausencia de engrane de paso. A números de revoluciones usuales del rotor resultan unos tiempos de espera comprendidos entre las respectivas secciones de los convertidores de paso consecutivos de aproximadamente 3 segundos a 8 segundos a un número de revoluciones nominal. Esta medida es asistida preferiblemente por una detección de la posición del rotor que está ya presente en algunas instalaciones de energía eólica.

Como ausencia de engrane se designa una holgura en el engranaje, en este caso la holgura en el engranaje del accionamiento de paso. En la posición horizontal a las 3 horas y recíprocamente en la posición opuesta a las 9 horas la pala del rotor está ya posicionada en una respectiva posición fijamente definida, condicionada por el peso propio y la distribución del peso. Por el contrario, está comparativamente indefinida la posición de la pala del rotor en la situación de usencia de engrane del accionamiento de paso en la posición más superior y en la posición más inferior, es decir, la posición de las 12 horas y la posición de las 6 horas. Las posiciones favorables para el frenado varían de un tipo de pala a otro y en cálculos de simulación se determinan teniendo en cuenta la geometría y la estructura de la pala y el sistema de paso, así como la aerodinámica de las palas.

La selección de la posición del rotor al comienzo de la transferencia de las palas del mismo a la situación de reposición depende en tales casos ventajosamente de una velocidad actual del viento y/o un número de revoluciones actual del rotor y/o una potencia actual de la instalación de energía eólica. Esto depende también del tipo de pala y del tipo de instalación de energía eólica. Puramente a modo de ejemplo y sin ánimo limitativo, cabe explicar que para determinadas instalaciones de energía eólica, por ejemplo a velocidades del viento de más de 8 m/s, la posición a las 5 horas puede elegirse como posición inicial del rotor y, a velocidades del viento de menos de 8 m/s, puede elegirse como posición inicial la posición a las 11 horas del rotor. La potencia de la instalación de energía eólica puede ser también un criterio, pudiendo elegirse la posición a las 5 horas a más de un 50% de la potencia nominal y la posición a las 11 horas a menos de un 50% de la potencia nominal. En lugar de la posición exacta a las 5 horas y la posición a las 11 horas se pueden elegir también otras posiciones, por ejemplo en un sector entre la posición a las 3 horas y la posición a las 6 horas o entre la posición a las 9 horas y la posición a las 12 horas.

Preferiblemente, se comienza la transferencia de las palas del rotor a la situación de reposición únicamente cuando todas las palas del rotor han adoptado el ángulo de paso predeterminado o predeterminable. Asimismo, es ventajoso que se interrumpa la desactivación cuando llegue una solicitud de una regulación de paso. Por tanto, se despiertan nuevamente todos los accionamientos de paso o sus convertidores de paso para hacer posible una reacción completa a la solicitud de regulación.

Cuando las palas del rotor se encuentran en la situación de reposición, se obtiene de manera ventajosa una evitación adicional de causas de fallos comunes ("common cause failures") cuando los convertidores de par se activan con cierto retardo de tiempo al solicitarse una regulación de paso, especialmente con retardos que no son sincrónicos con una duración del periodo en la red eléctrica, especialmente con un retardo en un rango comprendido entre 11 y 29 ms, especialmente de 23 o 27 ms. Un retardo de 23 ms o 27 ms no es sincrónico con una red eléctrica de 50 Hz ni con una red eléctrica de 60 Hz. Esta medida garantiza que las perturbaciones en la red eléctrica que se presenten temporalmente en plazo muy breve no afecten negativamente al mismo tiempo a los tres convertidores de paso. Mediante la activación asíncrona con la duración del periodo de los convertidores de paso se consigue, además, que cada convertidor de paso se active en un estado desfasado de la red eléctrica y, por tanto, se eviten causas de fallos comunes dependientes de la fase.

Un perfeccionamiento ventajoso del procedimiento reside en que se conecta primero el convertidor de paso para la pala del rotor con la máxima demanda momentánea de par de giro. El accionamiento de paso o los convertidores de paso para la pala del rotor con la menor demanda momentánea de par de giro se conecta entonces preferiblemente en último lugar. La demanda de par de giro puede deducirse de la posición del rotor y del punto de funcionamiento de la instalación de energía eólica para tomar una decisión basta.

El problema que sirve de base a la invención se resuelve también con un dispositivo de control de accionamientos de paso de una instalación de energía eólica con un rotor dotado de al menos dos palas de rotor de paso individualmente regulable, a cada una de las cuales está asociado un accionamiento de paso que comprende un motor de paso, un freno de paso y un convertidor de paso, estando concebido el dispositivo de control para enviar órdenes de control a los accionamientos de paso a través de una interfaz de comunicación de datos y para transferir las palas del rotor a una situación de reposición en la que se frenan éstas por medio de los frenos de paso con un ángulo de paso predeterminado o predeterminable y se desactivan los convertidores de paso, cuyo dispositivo de control se ha perfeccionado de tal manera que éste está concebido y preparado para desactivar sucesivamente los convertidores de paso de las al menos dos palas de rotor en una secuencia temporal, presentando siempre la secuencia temporal un tiempo de espera entre desactivaciones consecutivas.

Preferiblemente, este dispositivo de control según la invención está concebido y preparado para realizar un procedimiento según la invención anteriormente descrito. El dispositivo de control es una instalación de proceso de

datos, tal como un ordenador o un controlador de memoria programable que está dispuesto en el cubo del rotor como regulador de paso autónomo o bien es parte del sistema de gestión del funcionamiento en la llamada "top box" (caja superior) en la sala de máquinas o en una "caja de fondo" en la base de la torre o caja de la base de la torre de la instalación de energía eólica.

5 Finalmente, el problema que sirve de base a la invención se resuelve por medio de una instalación de energía eólica con un rotor dotado de al menos dos palas de rotor de paso individualmente regulable, a cada una de las cuales está asociado un accionamiento de paso que comprende un motor de paso, un freno de paso y un convertidor de paso, cuya instalación comprende un dispositivo de control según la invención anteriormente descrito para los accionamientos de paso.

10 El dispositivo de control y la instalación de energía eólica presentan siempre las mismas características, ventajas y propiedades que el procedimiento según la invención anteriormente descrito, para cuya realización están preparados y concebidos dicho dispositivo y dicha instalación. Los ordenadores y controladores de memoria programable utilizados en instalaciones de energía eólica consisten en programas informáticos o programaciones de los controladores de memoria programable que sirven para implementar el procedimiento según la invención.

15 Otras características de la invención resultarán evidentes por la descripción de formas de realización según la invención junto con las reivindicaciones y los dibujos adjuntos. Las formas de realización según la invención pueden cumplir con características individuales o con una combinación de varias características.

A continuación, se describe la invención sin limitación de la idea inventiva general con ayuda de ejemplos de realización y con referencia a los dibujos, remitiéndose expresamente a los dibujos con respecto a todos los detalles según la invención no explicados pormenorizadamente en el texto. Muestran:

La figura 1, un corte transversal esquemático de la góndola de una instalación de energía eólica conocida,

La figura 2, una representación esquemática de un sistema de paso de un rotor de tres palas y

La figura 3, un diagrama de tiempo respecto de la puesta en sueño de un sistema de paso de una instalación de energía eólica.

25 En los dibujos los respectivos elementos y/o partes iguales o equivalentes están provistos de los mismos números de referencia, por lo que se prescinde de una nueva presentación correspondiente.

En la figura 1 se muestra una representación en corte transversal de una góndola de una instalación de energía eólica conocida, por ejemplo la instalación de energía eólica MD70 de la solicitante. La góndola 3 está asentada sobre una torre 2 cuya sección próxima a la góndola está representada. A la izquierda en la figura 1 se representa un rotor con un cubo de rotor 4 y palas de rotor 5 que están representadas solamente en la zona de la raíz de las mismas. Las palas 5 del rotor presentan en la zona de su raíz un cojinete 6 en el que ataca un accionamiento de regulación de las palas o accionamiento de paso 7. El accionamiento de paso 7 comprende un motor de paso que es activado por un regulador de paso 8 y que, durante el funcionamiento de la instalación de energía eólica 1, modifica el ángulo de ajuste de las palas o ángulo de paso de la respectiva pala 5 del rotor. No se representa un freno de paso elásticamente cargado que está asentado sobre el eje del motor de paso. Tampoco se representan unos convertidores individuales de los accionamientos de paso 7.

La góndola 3 alberga un soporte de maquinaria 12 que está unido con la torre 2 a través de una corona giratoria 9 de la cabeza de la torre. En la corona giratoria 9 de la cabeza de la torre atacan unos motores 10 de seguimiento del viento de una regulación de azimut que orientan la góndola o el rotor en dirección a la dirección reinante del viento. Están presentes para esto cuatro motores 10 de seguimiento del viento, dos de los cuales están dispuestos en el lado representado y otros dos están ocultos detrás de los mismos en el otro lado del soporte de maquinaria 12. Asimismo, en la corona giratoria 9 de la cabeza de la torre atacan unos frenos de azimut 11 que sirven para inmovilizar el ajuste de azimut del rotor.

El rotor acciona un árbol de rotor 13 que está montado de manera giratoria en un cojinete de rotor 14 configurado como un rodamiento. El árbol 13 del rotor acciona un engranaje planetario 15 que convierte el movimiento de giro lento del árbol del rotor en un movimiento de giro rápido de un árbol de generador 19 que está representado con acoplamientos y que a su vez acciona un generador 20 de producción de corriente eléctrica que está equipado con un intercambiador de calor 21.

Otros dos puntos de apoyo de la línea de impulsión consisten en las suspensiones elásticas del engranaje o los apoyos 16, uno de los cuales está representado en la figura 1, mientras que el otro se encuentra dispuesto simétricamente en el otro lado del engranaje planetario 15 y está así oculto por dicho engranaje planetario 15. Éstos están diseñados de modo que absorban tanto cargas de torsión como cargas de flexión del árbol 13 del rotor que se transmitan, a través del engranaje planetario 15, a los apoyos 16 y luego al soporte de maquinaria 12.

El engranaje planetario 15 presenta, además, un freno de rotor 17 y un transmisor de anillo rozante 18.

La figura 2 muestra esquemáticamente una vista dentro de un cubo de rotor 4 con tres conexiones 51 de pala de rotor que están dispuestas a distancias angulares entre ellas de 120°. Cada conexión 51 de pala de rotor lleva asociado un respectivo accionamiento de regulación de pala o accionamiento de paso 7 que comprende los componentes motor de paso 71, freno de paso 72 y convertidor de paso 73, los cuales están todos ellos representados de manera esquemática. Los convertidores de paso 73 suministran a los motores de paso 71 una respectiva corriente continua o alterna, en función del tipo del motor de paso 71 como motor de CA o de CC, para que éstos puedan hacer que giren las palas del rotor en las conexiones 51 de las mismas. Los frenos de paso 72 se aplican, es decir que se frenan las palas del rotor, cuando se desactivan los convertidores de paso 73.

Los tres convertidores de paso 73 están unidos con un dispositivo de control central 8 o regulación de paso que está unido con un sistema de gestión de funcionamiento no representado y que recibe solicitudes regulaciones de paso y cuida de que los accionamientos de paso 7 trasladen las palas del rotor a la posición de paso deseada.

Fuera del cubo 4 del rotor están representadas adicionalmente algunas posiciones de las palas del rotor, concretamente en lo más alto la posición a las 12 horas ("12h"), la posición a las 3 horas ("3h"), la posición a las 5 horas ("5h"), la posición a las 6 horas ("6h"), la posición a las 9 horas ("9h") y la posición a las 11 horas ("11h"). Esto supone una rotación del cubo 4 del rotor según la flecha junto a la posición 12h en el sentido de las agujas del reloj. Las palas del rotor están sometidas durante el funcionamiento a cargas de la gravitación y de la aerodinámica que conducen a momentos de torsión y pueden conducir a movimientos dentro de la holgura del engranaje del accionamiento de paso. Respecto de la dirección de la gravitación no representada en la figura 2, que mira hacia abajo en la dirección 6h, las palas del rotor están siempre horizontales en la posición 3h y en la posición 9h. En el supuesto de que domine el efecto de la gravitación, las palas del rotor están óptimamente inmovilizadas por grandes momentos de torsión en las posiciones horizontales con referencia a su posición de paso y a la holgura del engranaje. Por ejemplo, en la posición 5h y en la posición 11h las palas del rotor se encuentran adicionalmente en una posición de pequeño par de giro que se ejerce sobre las palas del rotor con respecto a su posición de paso, y al mismo tiempo también con referencia a la holgura o la ausencia de engrane de una posición definida, ya que las palas vienen de la zona de los momentos de torsión grandes. Por tanto, estas posiciones o zonas alrededor de esta posición son, por ejemplo, ideales para iniciar la transferencia a la situación de reposición, es decir, para desactivar los convertidores de par 73 y para frenar las palas del rotor, ya que la posición en la holgura del engranaje está unívocamente definida y se presentan al mismo tiempo momentos de torsión pequeños que evitan un resbalamiento al frenar el accionamiento de paso. Geometrias de palas diferentes y la dominancia de efectos aerodinámicos pueden modificar las posiciones angulares preferidas, por lo que éstas han de determinarse para la respectiva configuración del rotor en cálculos de simulación o mediciones.

La figura 3 muestra un diagrama con un eje de tiempo t y un eje vertical con señales diferentes. Así, el dispositivo de control 8 envía en los instantes t_1 , t_2 y t_3 a los accionamientos de paso 7 de la figura 2 unas respectivas señales de desactivación 101, 102 y 103 que conducen a que las palas de rotor correspondientes sean frenadas por activación de los frenos de paso 72 y se desactiven los convertidores de paso 73. En cada convertidor de paso 73 sigue después de la señal de desactivación 101, 102, 103 asignada al mismo un tiempo precario 105 que se espera siempre antes de que se produzca la señal de desactivación inmediata siguiente 102, 103. De esta manera, no puede ocurrir que dos convertidores de paso 73 se encuentren simultáneamente en su tiempo precario.

En la línea más superior se indican varios instantes 111 a 116 en los que podría hacerse una solicitud de regulación por el sistema de gestión del funcionamiento.

La primera solicitud de regulación 111 tiene lugar dentro del tiempo precario 105 del primer convertidor de paso 73. En este instante no puede reaccionar el primer convertidor de paso 73, pero los otros dos accionamientos de paso 7 con sus convertidores de paso 73 aún activos se encuentran en el modo de regulación normal y pueden reaccionar. Se garantiza así un funcionamiento seguro de la instalación de energía eólica 1.

Una solicitud de regulación 112 tendría lugar después de transcurrido el tiempo precario 105 del convertidor de paso 73 primeramente desactivado, es decir después de que ya se haya desactivado con éxito el primer convertidor de paso 73, y antes de que se hayan producido las otras dos señales de desactivación 102, 103. En este caso, las tres palas del rotor pueden reaccionar rápidamente, ya que se despierta rápidamente la primera pala del rotor o su accionamiento de paso 7 y las otras dos palas se encuentran de todos modos aún en funcionamiento de regulación.

La solicitud de regulación 113 tiene lugar durante el tiempo precario 105 del segundo convertidor de paso 73. En este caso, puede ocurrir que no se pueda reactivar el segundo convertidor de paso 73. Sin embargo, están disponibles todavía los convertidores de paso 73 aún activos del accionamiento de paso correspondiente 7, así como el primer accionamiento de paso 7 que ya se ha puesto en sueño con éxito y que puede ser reactivado de nuevo rápidamente.

La solicitud de regulación 114 tiene lugar nuevamente en el tiempo seguro después de transcurrido el tiempo precario 105 del segundo convertidor de paso 73 y antes de la tercera solicitud de desactivación 103, con lo que los

dos primeros convertidores de paso 73 ya puestos en sueño pueden reactivarse rápidamente y el tercer accionamiento de paso 7 se encuentra todavía en el modo de regulación. Así, los tres accionamientos de paso 7 están rápidamente disponibles.

- 5 La solicitud de regulación 115 tiene lugar durante el tiempo precario 105 del tercer convertidor de paso 73. Los otros dos convertidores de paso 73 se han puesto ya en sueño con éxito, pero pueden ser reactivados muy rápidamente, con lo que queda garantizado también aquí un funcionamiento seguro.

La solicitud de regulación 116 tiene lugar después de poner en sueño con éxito o de activar los tres accionamientos de paso 7 o los convertidores de paso 73, con lo que queda garantizada también aquí una reacción completa del sistema de paso por efecto del rápido despertar de los tres convertidores de paso 73.

- 10 El escalado del eje de tiempo de la figura 3 es puramente arbitrario y no se ha elegido a escala. En particular, el tiempo precario con, por ejemplo, unos pocos milisegundos puede resultar varios órdenes de magnitud más pequeño que el tiempo entre dos tiempos precarios con, por ejemplo, 10 s.

En el marco de la invención se han de entender como características facultativas, las características que se han marcado con “especialmente” o “preferiblemente”.

15 Lista de símbolos de referencia

	1	Instalación de energía eólica
	2	Torre
	3	Góndola
	4	Cubo de rotor
20	5	Pala de rotor
	6	Cojinete de pala de rotor
	7	Accionamiento de paso
	8	Dispositivo de control
	9	Corona giratoria de cabeza de torre
25	10	Motores de seguimiento del viento
	11	Frenos de azimut
	12	Soporte de maquinaria
	13	Árbol de rotor
	14	Cojinete de rotor
30	15	Engranaje planetario
	16	Suspensión elástica del engranaje
	17	Freno de rotor
	18	Transmisor de anillo rozante
	19	Árbol de generador con acoplamientos
35	20	Generador
	21	Intercambiador de calor
	51	Conexión de pala de rotor
	71	Motor de paso
	72	Freno de paso
40	73	Convertidor de paso
	101	Primera señal de desactivación
	102	Segunda señal de desactivación
	103	Tercera señal de desactivación
	105	Tiempo precario
45	111-116	Solicitud de regulación

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para controlar accionamientos de paso (7) de una instalación de energía eólica (1) con un rotor dotado de al menos dos palas de rotor (5) de paso individualmente regulable, a cada una de las cuales está asociado un accionamiento de paso (7) que comprende un motor de paso (71), un freno de paso (72) y un convertidor de paso (73), en el que las palas (5) del rotor, al pasar de un rango de plena carga de paso regulado a un rango de carga parcial, se transfieren a una situación de reposición en la que son frenadas por medio de los frenos de paso (72) a un ángulo de paso existente o predeterminado y en la que se desactivan los convertidores de paso (73), **caracterizado** por que los convertidores de paso (73) de las al menos dos palas (5) del rotor se desactivan sucesivamente en una secuencia temporal, presentando siempre la secuencia un tiempo de espera entre desactivaciones consecutivas.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** por que la desactivación de los convertidores de paso (73) comprende una desconexión o una transposición a un estado de sueño.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado** por que el tiempo de espera es mayor que un tiempo precario (105) de los convertidores de paso (73) en el que no está garantizado un retorno seguro de la desactivación al funcionamiento, estando el tiempo de espera comprendido especialmente entre 1,5 y 12 segundos y siendo particularmente de 2 segundos o más.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** por que los convertidores de paso (73) no reciben ni procesan solicitudes de regulación después de su desactivación dentro de un tiempo de espera de regulación que es igual que el tiempo precario o más largo que el tiempo precario, siendo especialmente igual al tiempo de espera.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** por que la transferencia de las palas (5) del rotor a la situación de reposición comienza siempre en una posición predeterminada o predeterminable del rotor, especialmente en la posición a las cinco 5 o la posición a las 11 horas de la respectiva pala (5) del rotor.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado** por que la selección de la posición del rotor al comienzo de la transferencia de las palas (5) del rotor a la situación de reposición depende de una velocidad actual del viento, un número de revoluciones actual del rotor y/o una potencia actual de la instalación de energía eólica.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** por que la transferencia de las palas (5) del rotor a la situación de reposición se inicia únicamente cuando todas las palas (5) del rotor han adoptado el ángulo de paso predeterminado o predeterminable.
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** por que se interrumpe la desactivación cuando llega una solicitud de una regulación del paso.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** por que, cuando las palas (5) del rotor se encuentran en la situación de reposición, se tiene que, al solicitarse una regulación del paso, se activan los convertidores de paso (73) con cierto retardo temporal, especialmente con retardos que no son sincrónicos con una duración del periodo en la red eléctrica, especialmente con un retardo en un intervalo comprendido entre 11 ms y 29 ms.
10. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado** por que se conecta primeramente el convertidor de paso (73) para la pala (5) del rotor con la máxima demanda momentánea de par de giro.
11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado** por que se ejecuta el procedimiento en el marco de un control dirigido a la seguridad.
12. Dispositivo de control (8) para accionamientos de paso (7) de una instalación de energía eólica (1) con un rotor dotado de al menos dos palas de rotor (5) de paso individualmente regulable, a cada una de las cuales está asociado un accionamiento de paso (7) que comprende un motor de paso (71), un freno de paso (72) y un convertidor de paso (73), estando concebido el dispositivo de control (8) para enviar órdenes de control a los accionamientos de paso (7) a través de una interfaz de comunicación de datos y para transferir las palas (5) del rotor a una situación de reposición en la que éstas son frenadas por medio de los frenos de paso (72) a un ángulo de paso predeterminado o predeterminable y en la que se desactivan los convertidores de paso (73), **caracterizado** por que el dispositivo de control (8) está concebido y preparado para desactivar sucesivamente en una secuencia temporal los convertidores de paso (73) de las al menos dos palas de rotor (5), presentando siempre la secuencia un tiempo de espera entre desactivaciones consecutivas.
13. Dispositivo de control (8) según la reivindicación 12, **caracterizado** por que está concebido y preparado para ejecutar un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.
14. Instalación de energía eólica (1) con un rotor dotado de al menos dos palas de rotor (5) de paso individualmente

regulable, a cada una de las cuales está asociado un accionamiento de paso (7) que comprende un motor de paso (71), un freno de paso (72) y un convertidor de paso (73), así como con un dispositivo de control (8) para los accionamientos de paso (7) según las reivindicaciones 12 o 13.

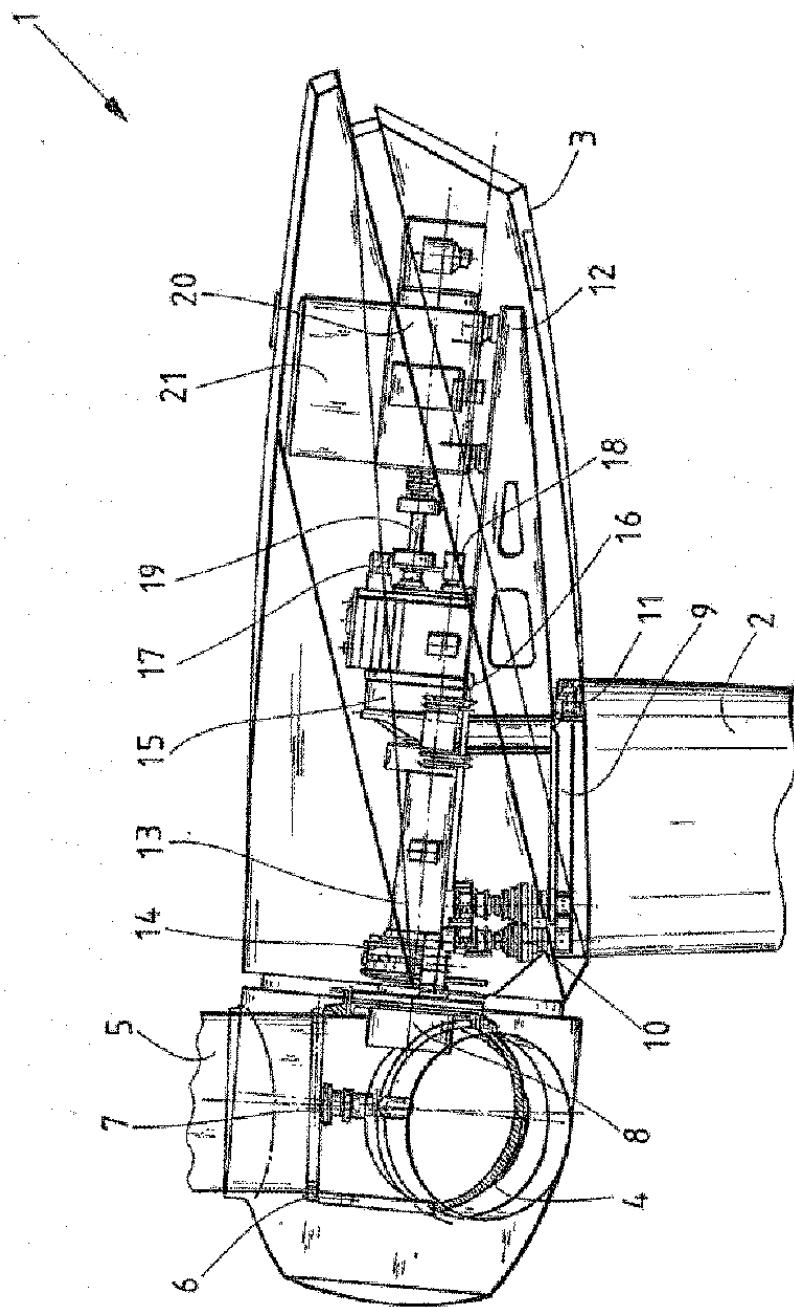
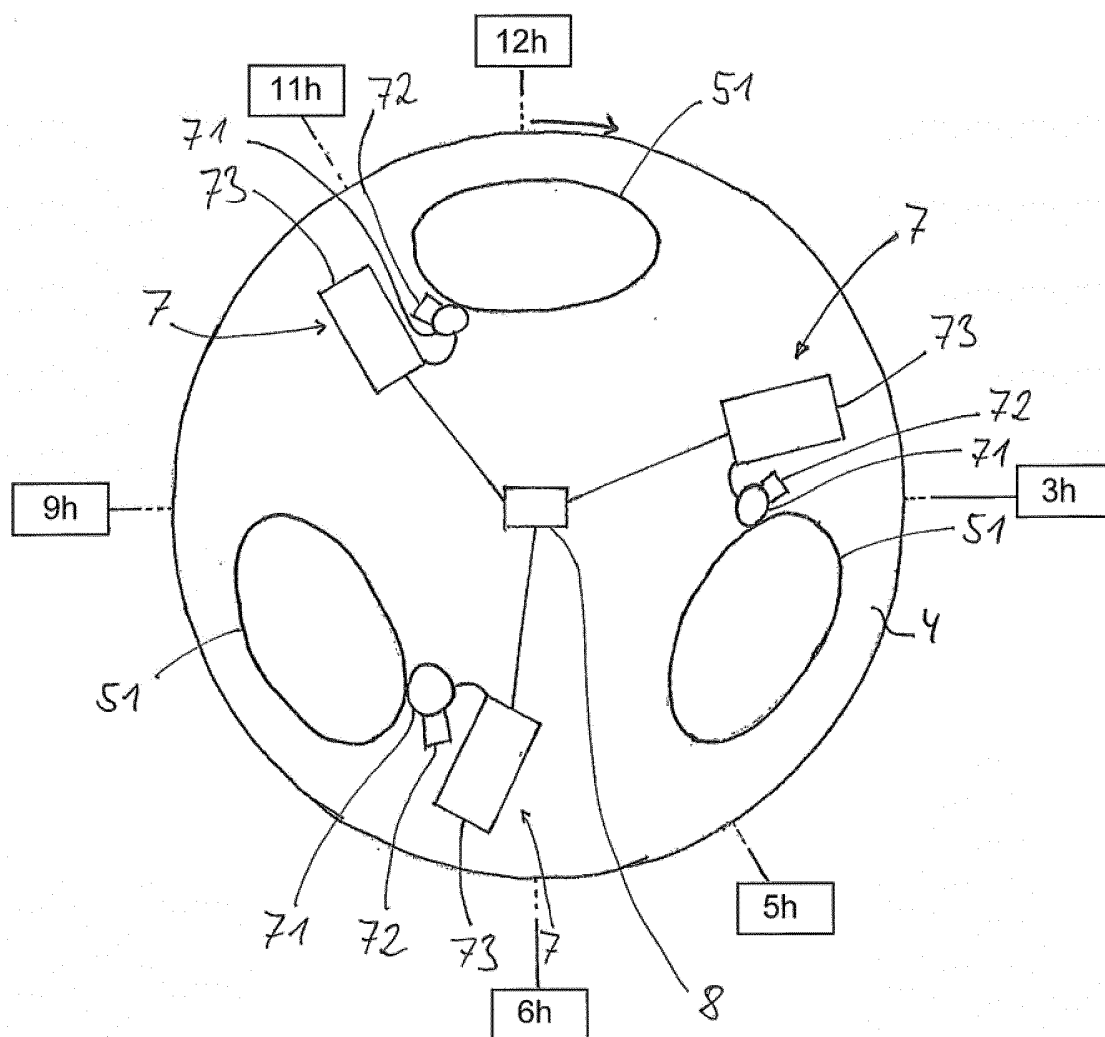


Fig. 1

(Estado de la Técnica)

Fig. 2



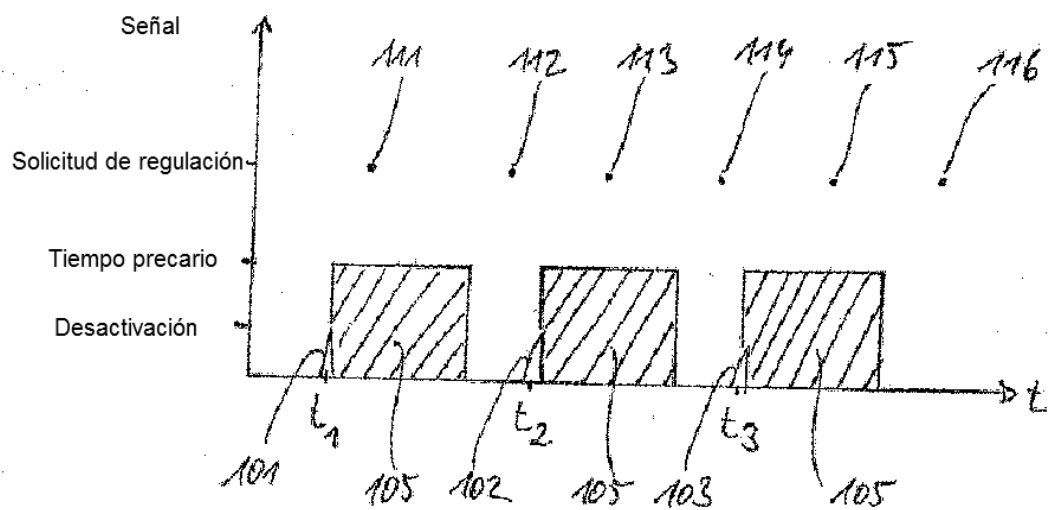


Fig. 3