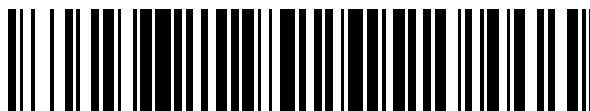


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 382 010**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

G05B 11/01 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08021302 .8**

96 Fecha de presentación: **08.12.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2196666**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **16.06.2010**

54 Título: **Control de la velocidad de giro de una turbina eólica que no puede exportar energía eléctrica a una red eléctrica**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
04.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
04.06.2012

73 Titular/es:
**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
WITTELSBACHERPLATZ 2
80333 MÜNCHEN, DE**

72 Inventor/es:
**Egedal, Per y
Kjaer, Ole**

74 Agente/Representante:
Zuazo Araluze, Alexander

ES 2 382 010 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).

DESCRIPCION

Control de la velocidad de giro de una turbina eólica que no puede exportar energía eléctrica a una red eléctrica

5

Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de las turbinas eólicas para generar energía eléctrica. En particular, la presente invención se refiere a un dispositivo y a un método para controlar la velocidad de giro de un rotor de una turbina eólica en una situación de funcionamiento, en la que la turbina eólica no puede exportar energía eléctrica a una red eléctrica que está conectada a la turbina eólica. Además, la presente invención se refiere a una turbina eólica que comprende el dispositivo de control de velocidad de giro mencionado anteriormente y a un programa informático para controlar el método de control de velocidad de giro mencionado anteriormente.

Antecedentes de la técnica

La energía eólica se reconoce cada vez más como una opción viable para complementar e incluso reemplazar otros tipos de fuentes de energía tales como, por ejemplo, combustibles fósiles. Sin embargo, el control del funcionamiento de una turbina eólica es con frecuencia muy sensible ya que una turbina eólica se ve expuesta normalmente a condiciones ambientales en constante cambio que pueden provocar cargas mecánicas extremas, por ejemplo, para el rotor y para el mástil de la turbina eólica.

Además, el funcionamiento de una turbina eólica depende en gran medida de la disponibilidad y la capacidad de absorción de energía eléctrica de la red eléctrica a la que se conecta la turbina eólica. Específicamente, cuando se produce un fallo en la red eléctrica cerca de una turbina eólica, la tensión de la red eléctrica será normalmente muy baja. Esto hace imposible que el generador de la turbina eólica exporte la energía eléctrica producida a la red eléctrica. El resultado es un aumento de la velocidad de giro del rotor de la turbina eólica con el riesgo de una peligrosa situación de exceso de velocidad.

Con el fin de evitar una situación de exceso de velocidad, se conoce controlar la velocidad de giro de un controlador de velocidad de la turbina eólica, por ejemplo, ajustando el ángulo de paso de las palas del rotor en una posición angular que es diferente del ángulo de paso de pala óptimo cuando la turbina eólica funciona en un estado de funcionamiento libre de error. Por tanto, es esencial que el controlador de velocidad pueda reaccionar rápidamente ante el fallo de la red eléctrica. Además, puede ser necesaria una parada de emergencia del funcionamiento de la turbina eólica debido al hecho de que, sin tensión en la red eléctrica, un sistema de control de ángulo de paso de pala sólo puede hacerse funcionar en el modo de emergencia, en el que cambia el ángulo de paso de pala a una velocidad constante. Sin embargo, el cambio de paso a una velocidad constante provoca grandes cargas en la torre y el sistema de orientación de la turbina eólica.

El documento EP 1 651 865 B1 describe un método para regular el paso de las palas de una turbina eólica al detectar un mal funcionamiento de la red eléctrica. Por tanto, el paso se regula continuamente o en etapas con el fin de reducir la producción de energía de la turbina eólica y proteger así frente a un sobrecalentamiento los componentes de la turbina eólica.

El documento EP 1 819 023 A2 resuelve el problema del sobrecalentamiento de los componentes de una turbina eólica en caso de un mal funcionamiento de la red eléctrica conmutando la salida de energía desde la turbina a una resistencia de descarga en cuanto se haya rectificado el mal funcionamiento o hasta que se haya detenido la turbina eólica de una manera controlada.

Otros sistemas de control de la técnica anterior se describen, por ejemplo, en los documentos EP 1 903 213 A2 y US 4.193.005.

Puede haber una necesidad de proporcionar un control para la velocidad de giro de una turbina eólica que no puede exportar energía eléctrica a una red eléctrica, en la que el control cambia un parámetro de funcionamiento característico que es indicativo de la velocidad de giro del rotor de tal manera que pueden reducirse las cargas mecánicas en la torre y el sistema de orientación de la turbina eólica.

Sumario de la invención

Esta necesidad puede satisfacerse mediante el contenido según las reivindicaciones independientes. Realizaciones ventajosas de la presente invención se describen mediante las reivindicaciones dependientes.

Según un primer aspecto de la invención se proporciona un dispositivo para controlar la velocidad de giro de un rotor de una turbina eólica para alimentar energía eléctrica a una red eléctrica. El dispositivo de control de velocidad de giro proporcionado comprende (a) un primer nodo de entrada para recibir una primera señal que es indicativa de una velocidad de giro real del rotor, (b) un segundo nodo de entrada para recibir una segunda señal que es indicativa de

una velocidad de giro de referencia para el rotor, (c) una unidad de detección para detectar una situación de funcionamiento defectuoso en la que la turbina eólica no puede exportar energía eléctrica a la red eléctrica, (d) una unidad de control para proporcionar una señal de referencia de un parámetro de funcionamiento característico de la turbina eólica basándose en la primera señal y basándose en la segunda señal, siendo el parámetro de funcionamiento característico indicativo de la velocidad de giro del rotor, en el que la unidad de control comprende un elemento de control proporcional y un elemento de control integral, y (e) un generador de impulsos, que se conecta a la unidad de detección y al elemento de control integral y que está adaptado para enviar un impulso de activación al elemento de control integral en respuesta a la detección del estado de funcionamiento defectuoso.

El dispositivo de control de velocidad de giro descrito se basa en la idea de que enviando un impulso de activación al elemento de control integral de la unidad de control, que representa un controlador proporcional más integral (controlador PI), se aumentará la tasa de cambio en el tiempo de la señal de referencia. Esto puede significar que la magnitud del cambio de la señal de referencia en respuesta a la detección del estado de funcionamiento defectuoso será mucho mayor comparado con los controladores de velocidad conocidos que no tienen generador de impulsos que conecta una unidad de detección de red eléctrica con el elemento de control integral de un elemento de control.

Según los principios básicos de ingeniería de control automático, cambiando en gran medida la señal de referencia, se reducirá significativamente el tiempo de respuesta para adaptar o respectivamente cambiar el parámetro de funcionamiento característico de la turbina eólica. Esto significa que el dispositivo de control de velocidad de giro hará que la turbina eólica responda rápidamente a la detección del estado de funcionamiento defectuoso adaptando la señal de referencia del parámetro de funcionamiento característico de tal manera que la velocidad de giro del rotor por consiguiente se adaptará de manera correspondiente. Por tanto, pueden evitarse de manera eficaz daños a la turbina eólica en particular en conexión con una situación de exceso de velocidad.

El impulso de activación descrito puede aplicarse al elemento de control integral inmediatamente después de que se haya detectado el estado de funcionamiento defectuoso. Esto garantiza una respuesta rápida del dispositivo de control de velocidad de giro a la detección del estado de funcionamiento defectuoso.

El estado de funcionamiento defectuoso puede asociarse con al menos un componente de la turbina eólica y/o puede asociarse con la condición de la red eléctrica. Por ejemplo, la frecuencia de la energía eléctrica que está proporcionándose por el viento puede estar desfasada con respecto a la frecuencia de la red eléctrica. Un desfase de este tipo puede estar provocado, por ejemplo, por una desconexión del convertidor de frecuencia de la turbina eólica. Sin embargo, también otros fallos, que se producen en otro hardware de la turbina eólica, pueden hacer que repentinamente sea imposible que la turbina eólica exporte su energía eléctrica a la red eléctrica.

El dispositivo de control de velocidad de giro descrito puede realizarse por medio de un programa informático o respectivamente por medio de software. Sin embargo, el dispositivo de control de velocidad de giro también puede realizarse por medio de uno o más circuitos electrónicos específicos o respectivamente hardware. Además, el sistema de control también puede realizarse en una forma híbrida, es decir en una combinación de módulos de software y módulos de hardware.

Según una realización de la invención, el dispositivo de control de velocidad de giro comprende además un tercer nodo de entrada para conectar el dispositivo a la red eléctrica. Por tanto, (a) la unidad de detección se conecta al tercer nodo de entrada y (b) la unidad de detección está adaptada para detectar un fallo eléctrico en la red eléctrica. Esto puede proporcionar la ventaja de que un mal funcionamiento de la red eléctrica, que hace que sea imposible que la turbina eólica exporte su energía eléctrica generada, puede detectarse de una manera rápida y fiable.

Según una realización adicional de la invención, la unidad de detección comprende un detector de tensión. Este puede proporcionar la ventaja de que las caídas de tensión de la red eléctrica pueden detectarse fácilmente mediante la unidad de detección. Puesto que la mayoría de malos funcionamientos de redes eléctricas están asociados con caídas de tensión, el detector de tensión podrá detectar casi cualquier tipo de fallos de la red eléctrica.

A este respecto se menciona que la potencia eléctrica P está asociada con la tensión U y la corriente I mediante la ecuación conocida $P = U \cdot I$. Por tanto, si la tensión U es muy baja, entonces la potencia P también será baja, ya que la corriente I se saturará hasta una corriente nominal.

Debe mencionarse que el detector de tensión no sólo puede detectar caídas de tensión. El detector de tensión también puede ser sensible a descensos de tensión. Esto significa que el detector de tensión no sólo puede ser sensible al nivel de tensión sino también a la tasa de cambio en el tiempo del nivel de tensión. Por tanto, puede lograrse incluso una sensibilidad superior del detector de tensión. Esto se cumple en particular para fluctuaciones cortas del nivel de tensión de la red eléctrica, durante las cuales no es posible que la turbina eólica exporte su energía eléctrica generada.

Como ya se ha mencionado anteriormente, cuando la tensión de la red eléctrica cae por debajo de un valor de umbral predefinido, la turbina eólica ya no puede exportar energía eléctrica a la red eléctrica. Como consecuencia, la

eficiencia de la turbina eólica con respecto a su capacidad para extraer energía a partir de un flujo de viento circundante debe disminuirse con el fin de evitar una situación de exceso de velocidad. Una situación de exceso de velocidad, que está fuera de las especificaciones mecánicas y/o eléctricas de la turbina eólica, puede provocar un daño significativo a la turbina eólica. Por tanto, en caso de una caída de tensión y/o un descenso de tensión de la red eléctrica, el parámetro de funcionamiento característico de la turbina eólica debe cambiarse de tal manera que se reduzca la velocidad de giro del rotor de la turbina eólica.

Al evitar que la turbina eólica pase por una situación de exceso de velocidad por medio del dispositivo de control de velocidad de giro descrito puede reducirse el momento de flexión de máximo de la torre en aproximadamente el 50% en comparación con el uso de un dispositivo de control de velocidad de giro conocido que no tiene impulso de activación que provoque una respuesta más rápida de la turbina eólica al estado de funcionamiento defectuoso. Además, cuando se usa el dispositivo de control de velocidad de giro descrito puede reducirse el momento de guiñada en aproximadamente el 30%. Estas mejoras de las cargas mecánicas, que se provocan mediante el impulso de activación descrito, se han demostrado por el inventor por medio de simulaciones numéricas del comportamiento de una turbina eólica concreta.

Según una realización adicional de la invención, el parámetro de funcionamiento característico de la turbina eólica es un ángulo de paso de pala de al menos una pala del rotor. Esto puede proporcionar la ventaja de que el grado de eficiencia de la turbina eólica puede reducirse fácilmente ajustando simplemente el ángulo de paso de pala a una posición que es diferente con respecto al ángulo de paso de pala óptimo.

En particular, cuando se detecta una caída de tensión en la tensión de la red eléctrica por la unidad de detección, el impulso de activación se enviará al elemento de control integral del controlador PI. La siguiente integración de este impulso de activación conduce a una etapa en la salida del integrador que fuerza un movimiento rápido del ángulo de paso de pala.

La aplicación de la activación de paso tiene el mismo efecto sobre la señal de referencia, que en esta realización representa una salida de referencia de paso de pala, que un gran error de velocidad negativo. Por tanto actúa para reducir adicionalmente la velocidad de giro del rotor y evita eficazmente así una situación de exceso de velocidad.

Según una realización adicional de la invención, el generador de impulsos está adaptado para enviar un impulso de activación inverso al elemento de control integral. Un impulso de activación inverso de este tipo puede generarse mediante el generador de impulsos si un fallo eléctrico en la red eléctrica, que se ha detectado mediante la unidad de detección, se ha superado dentro de un intervalo de tiempo predefinido después de que se haya detectado el fallo eléctrico. El intervalo de tiempo predefinido puede tener una duración de entre 0,02 s y 10 s. Una activación de paso inverso puede enviarse, por ejemplo, si la duración de tiempo predefinida está por debajo de 1,5 s.

En términos generales, si el mal funcionamiento de red eléctrica dura sólo durante una duración de tiempo corta, el dispositivo de control de velocidad de giro descrito no emitirá una orden de parada para apagar el funcionamiento de la turbina eólica. En su lugar, se envía el impulso de activación inverso descrito al elemento de control integral del controlador PI cuando la condición de red eléctrica ha retornado al estado normal. Esto fuerza una etapa negativa en el elemento integral del controlador PI y eliminará el impulso de activación que se envió cuando se produjo el fallo de la red eléctrica.

A este respecto se señala que tras la emisión del impulso de activación inverso el dispositivo de control de velocidad de giro descrito permanecerá en funcionamiento. Por tanto, si el mal funcionamiento de la red eléctrica dura sólo durante una duración de tiempo relativamente corta, se elimina la necesidad de un nuevo procedimiento de arranque del dispositivo de control de velocidad de giro.

Según una realización adicional de la invención, el dispositivo de control de velocidad de giro comprende además una unidad de temporizador, que se conecta a la unidad de detección y que está adaptada para proporcionar una señal de orden de parada a otros componentes del dispositivo. Esto puede proporcionar la ventaja de que si el estado de funcionamiento defectuoso dura durante una duración de tiempo, que es más larga que un umbral predefinido de por ejemplo 100 ms, la turbina eólica puede apagarse de una manera definida. Esto puede facilitar un reinicio posterior de la turbina eólica.

En particular, la señal de orden de parada puede provocar que se inicie un ángulo de paso de pala mínimo respecto al ángulo de paso de pala real y un aumento del paso de pala mínimo en función del tiempo desde que se inició la orden de parada. Por tanto, un ángulo de paso de pala de aproximadamente 0° puede considerarse que representa el ángulo de paso de pala óptimo cuando tanto la turbina eólica como la red eléctrica están en un estado de funcionamiento libre de error en el que la turbina eólica está lista para producir una energía eléctrica máxima. Por el contrario, un ángulo de paso de pala de 90° puede significar que la(s) pala(s) del rotor está(n) orientadas en perpendicular a la dirección del viento.

Además, la señal de orden de parada puede provocar que, después de que la velocidad de giro haya descendido por debajo de la velocidad de giro de referencia, la velocidad de giro de referencia disminuya hasta cero. Esto puede

proporcionar la ventaja de que la turbina eólica puede apagar su funcionamiento de una manera relativamente fiable. Esto se cumple en particular para el ajuste del ángulo de paso de pala.

5 Para disminuir la velocidad de giro de referencia pueden usarse componentes de hardware y/o software apropiados. Tales componentes apropiados son ampliamente conocidos por los expertos en la técnica del control de los estados de funcionamiento de turbinas eólicas. Por tanto, por motivos de concisión de esta solicitud no se darán detalles adicionales sobre posibles maneras de cómo puede realizarse una disminución de este tipo.

10 Según una realización adicional de la invención, la velocidad de giro de referencia del rotor es (a) una velocidad de giro independiente del tiempo que tiene un valor nominal predefinido, (b) una velocidad de giro independiente del tiempo que tiene un valor de cero o (c) una velocidad de giro dependiente del tiempo que tiene una dependencia de tiempo predefinida, que se inicia en respuesta a la señal de orden de parada.

15 Las diferentes segundas señales correspondientes que representan las diferentes velocidades de giro de referencia descritas pueden alimentarse de manera selectiva al segundo nodo de entrada a través de un conmutador controlable. Este conmutador controlable puede conectarse directa o indirectamente con la unidad de temporizador.

20 La dependencia de tiempo predefinida puede ser en particular una función rampa que parte del valor nominal predefinido y que se aproxima al valor de cero. Por tanto, puede usarse cualquier función continua. Probablemente la función más simple es una función que tiene una pendiente constante. Una función de este tipo también puede denominarse una función rampa.

25 Según una realización adicional de la invención, la unidad de control comprende una unidad de sustracción para obtener un error de velocidad de giro sustrayendo la primera señal que es indicativa de la velocidad de giro real de la segunda señal que es indicativa de la velocidad de giro de referencia. Además, el error de velocidad de giro se proporciona al elemento de control proporcional y al elemento de control integral. Esto puede proporcionar la ventaja de que el elemento de control proporcional y/o el elemento de control integral pueden funcionar con una única variable eléctrica. Por tanto, esta variable eléctrica representa el error de velocidad de giro real.

30 Según un aspecto adicional de la invención se proporciona una turbina eólica para generar energía eléctrica. La turbina eólica comprende (a) un rotor que tiene al menos una pala, en la que el rotor puede girar alrededor de un eje de giro y la al menos una pala se extiende radialmente con respecto al eje de giro, (b) un generador que se acopla mecánicamente al rotor para generar energía eléctrica a partir de un movimiento rotacional del rotor, y (c) un dispositivo tal como se describió anteriormente para controlar la velocidad de giro del rotor.

35 La turbina eólica descrita se basa en la idea de que integrando el dispositivo de control de velocidad de giro descrito anteriormente en una turbina eólica habitual, la turbina eólica puede responder rápidamente a la detección de un estado de funcionamiento defectuoso adaptando la señal de referencia del parámetro de funcionamiento característico de tal manera que la velocidad de giro del rotor por consiguiente se adapte de manera correspondiente. Por tanto, los daños a la turbina eólica en particular debido a una situación de exceso de velocidad pueden evitarse de manera eficaz.

40 Según una realización de la invención, la turbina eólica comprende además un suministro de energía ininterrumpido que se conecta al dispositivo para controlar la velocidad de giro del rotor. Esto puede proporcionar la ventaja de que el dispositivo de control de velocidad de giro descrito anteriormente puede controlar el funcionamiento de la turbina eólica incluso durante un fallo de la red eléctrica.

45 Según un aspecto adicional de la invención se proporciona un método para controlar la velocidad de giro de un rotor de una turbina eólica para alimentar energía eléctrica a una red eléctrica. El método de control de velocidad de giro proporcionado comprende (a) recibir una primera señal que es indicativa de una velocidad de giro real del rotor, (b) recibir una segunda señal que es indicativa de una velocidad de giro de referencia para el rotor, (c) detectar una situación de funcionamiento defectuoso en la que la turbina eólica no puede exportar energía eléctrica a la red eléctrica, (d) proporcionar una señal de referencia de un parámetro de funcionamiento característico de la turbina eólica basándose en la primera señal y basándose en la segunda señal, en el que el parámetro de funcionamiento característico es indicativo de la velocidad de giro del rotor, (e) enviar un impulso de activación desde un generador de impulsos hasta un elemento de control integral de una unidad de control, e (f) integrar el impulso de activación de manera que la señal de referencia del parámetro de funcionamiento característico de la turbina eólica cambie en respuesta a la detección del estado de funcionamiento defectuoso, en el que el cambio de la señal de referencia hace que el rotor cambie su velocidad de giro.

60 Además, el método de control de velocidad de giro descrito se basa en la idea de que enviando un impulso de activación al elemento de control integral puede aumentarse significativamente la tasa de cambio en el tiempo de la señal de referencia. Por tanto, la magnitud del cambio de la señal de referencia en respuesta a la detección del estado de funcionamiento defectuoso puede ser mucho mayor comparado con los métodos de control de velocidad conocidos, que no usan un impulso de activación con el fin de estimular adicionalmente el elemento de control integral. Preferiblemente, el elemento de control integral puede ser una parte de una unidad de control, que

preferiblemente también comprende un elemento de control proporcional.

Según un aspecto adicional de la invención se proporciona un programa informático para controlar la velocidad de giro de un rotor de una turbina eólica para alimentar energía eléctrica a una red eléctrica. El programa informático, cuando se ejecuta por un dispositivo de control, está adaptado para controlar el método descrito anteriormente.

Tal como se usa en el presente documento, la referencia a un programa informático pretende ser equivalente a una referencia a un elemento de programa y/o a un medio legible por ordenador que contiene instrucciones para controlar un sistema informático que coordine la ejecución del método descrito anteriormente.

El elemento de programa informático puede implementarse mediante un código de instrucciones legible por ordenador en cualquier lenguaje de programación adecuado, tal como, por ejemplo, JAVA, C++, y puede almacenarse en un medio legible por ordenador (disco extraíble, memoria volátil o no volátil, memoria/procesador integrado, etc.). El código de instrucciones puede funcionar para programar un ordenador o cualquier otro dispositivo programable para llevar a cabo las funciones previstas. El programa informático puede estar disponible desde una red, tal como la *World Wide Web*, desde la que puede descargarse.

Debe observarse que las realizaciones de la invención se han descrito con referencia a diferentes contenidos. En particular, algunas realizaciones se han descrito con referencia a reivindicaciones de tipo método mientras que otras realizaciones se han descrito con referencia a reivindicaciones de tipo aparato. Sin embargo, un experto en la técnica deducirá a partir de la descripción anterior y de la siguiente que, a menos que se notifique de otro modo, además de cualquier combinación de características pertenecientes a un tipo de contenido, también se considera que se da a conocer con esta aplicación cualquier combinación entre características referentes a contenidos diferentes, en particular entre características de las reivindicaciones de tipo método y características de las reivindicaciones de tipo aparato.

Los aspectos definidos anteriormente y aspectos adicionales de la presente invención son evidentes a partir de los ejemplos de realización que van a describirse a continuación en el presente documento y se explican con referencia a los ejemplos de realización. La invención se describirá en más detalle a continuación en el presente documento con referencia a ejemplos de realización pero a los que no se limita la invención.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra una turbina eólica que comprende un dispositivo de control de velocidad de giro según una realización de la presente invención.

La figura 2 muestra un diagrama de circuito para un dispositivo de control de velocidad de giro, que comprende un generador para enviar un impulso de activación a un elemento de control integral en respuesta a una detección de un estado de funcionamiento defectuoso en el que la turbina eólica no puede exportar energía eléctrica a una red eléctrica.

La figura 3 muestra un diagrama que representa una variación de un ángulo de paso de pala para un rotor de una turbina eólica en respuesta a la detección de un mal funcionamiento de una red eléctrica a la que se conecta la turbina eólica.

Descripción detallada

La ilustración en los dibujos es esquemática. Se observa que, en las diferentes figuras, se proporcionan a elementos similares o idénticos los mismos símbolos de referencia o símbolos de referencia que son diferentes de los correspondientes símbolos de referencia sólo en el primer dígito.

La figura 1 muestra una turbina 100 eólica según una realización preferida de la invención. La turbina 100 eólica comprende un mástil 120, que está montado sobre una base no representada. Encima del mástil 120 se dispone un carcasa 122. Entre el mástil 120 y la carcasa se proporciona un dispositivo 121 de ajuste de ángulo de rotor, que puede hacer girar la carcasa 122 alrededor de un eje vertical no representado, que está alineado con la extensión longitudinal del mástil 120. Controlando el dispositivo 121 de ajuste de ángulo de rotor de una manera apropiada, puede garantizarse que durante el funcionamiento de la turbina 100 eólica la carcasa 122 siempre esté alineada apropiadamente con la dirección actual del viento.

La turbina 100 eólica comprende además un rotor 110 que tiene tres palas 114. En la perspectiva de la figura 1 sólo son visibles dos palas 114. El rotor 110 puede girar alrededor de un eje 110a de giro. Las palas 114, que están montadas en un casquillo 112 de accionamiento, se extienden radialmente con respecto al eje 110a de giro.

Entre el casquillo 112 de accionamiento y una pala 114 se proporciona respectivamente un dispositivo 116 de ajuste de pala con el fin de ajustar el ángulo de paso de pala de cada pala 114 girando la respectiva pala 114 alrededor de un eje no representado que está alineado en paralelo con la extensión longitudinal de la pala 114. Controlando el

dispositivo 116 de ajuste de pala puede ajustarse el ángulo de paso de pala de la respectiva pala 114 de tal manera que, dependiendo de las condiciones actuales del viento, puede recuperarse una energía eólica máxima a partir de la energía eólica disponible.

5 Tal como puede observarse a partir de la figura 1, dentro de la carcasa se proporciona un caja 124 de engranajes con el fin de convertir el número de revoluciones del rotor 110 en un número superior de revoluciones de un árbol 125, que se acopla de una manera conocida a un generador 128. Además, se proporciona un freno 126 con el fin de
10 parar el funcionamiento de la turbina 100 eólica, por ejemplo en caso de una emergencia y/o en caso de condiciones de fuerte viento, que puedan dañar la turbina 100 eólica.

La turbina 100 eólica comprende además un dispositivo 140 de control de velocidad de giro, que se conecta de una manera no representada a un sensor 118 de velocidad de giro, que en funcionamiento mide la velocidad de giro del rotor 110. Además, según la realización descrita en este caso el dispositivo 140 de control de velocidad de giro se
15 conecta a un suministro 135 de energía ininterrumpido, que se conecta a su vez a una red 190 eléctrica por medio de una línea 135a de potencia. Una línea de potencia adicional, que por motivos de claridad no se representa en la figura 1, conecta el generador 128 con la red 190 eléctrica. A través de esta línea de potencia no representada la energía eléctrica, que se produce por la turbina 100 eólica, se transfiere a la red 190 eléctrica.

La figura 2 muestra un diagrama de circuito para el dispositivo 140 de control de velocidad de giro, que se denomina
20 ahora con el número de referencia 240. El dispositivo 240 de control de velocidad de giro comprende tres nodos de entrada. Un primer nodo 241 de entrada se usa para recibir una señal que es indicativa de la velocidad de giro real del rotor de una turbina eólica. Un segundo nodo 242 de entrada se usa para recibir una señal que es indicativa de una velocidad de giro de referencia para el rotor. Un tercer nodo 243 de entrada se usa para conectar el dispositivo 240 a una red 290 eléctrica. La red 290 eléctrica es la misma red a la que se alimenta la energía eléctrica que se
25 genera por la turbina eólica.

Tal como puede observarse a partir de la figura 2, la señal de referencia que se aplica al segundo nodo 242 de entrada puede representar (a) una velocidad de giro independiente del tiempo que tiene un valor nominal predefinido (*SpeedNom*), (b) una velocidad de giro independiente del tiempo que tiene un valor de cero (*SpeedZero*) o (c) una
30 señal de activación que se usa para iniciar una disminución de una referencia de velocidad que se proporciona por una unidad 248 de referencia de velocidad partiendo del valor nominal predefinido (*SpeedNom*) y que termina en un valor de cero (*SpeedZero*). Tal como puede observarse adicionalmente a partir de la figura 2, se proporciona una unidad 247 de conmutación con el fin de alimentar una de las tres señales (a), (b) o (c) a una unidad 248 de referencia de velocidad. Una función rampa, que representa el comportamiento de disminución en caso de que se proporcione la señal de activación (c) a la unidad 248 de referencia de velocidad, se almacena en la unidad 248 de
35 referencia de velocidad.

Tal como puede observarse adicionalmente a partir de la figura 2, una unidad 245 de detección se conecta al tercer nodo 243 de entrada. La unidad 245 de detección comprende un detector 246 de tensión, que puede detectar la
40 tensión de la red 290 eléctrica. En caso de que se detecte una caída de tensión, que es mayor que un descenso predefinido, la unidad 245 de detección emite una correspondiente señal que indica la caída de tensión. Esta señal se alimenta tanto a una unidad 270 de temporizador como a un generador 260 de impulsos.

Inmediatamente tras recibir esta señal que indica la caída de tensión de la red 290 eléctrica, el generador 260 de
45 impulsos emite un impulso 260a de activación, que se suministra a un elemento 256 de control integral de una unidad 250 de control. En una disposición en paralelo con respecto al elemento 256 de control integral, la unidad 250 de control también comprende un elemento 254 de control proporcional.

Según la realización descrita en este caso, la unidad 250 de control se usa para proporcionar una señal de referencia de un ángulo de paso de pala de la turbina eólica basándose en la velocidad de giro real del rotor proporcionada a través del primer nodo 241 de entrada y basándose en una señal que es indicativa de una
50 velocidad de giro de referencia para el rotor proporcionada a través del segundo nodo 242 de entrada. Un valor que indica la velocidad de giro real del rotor se sustrae de la referencia de velocidad proporcionada por la unidad 248 de referencia de velocidad por medio de una unidad 252 de sustracción. El valor resultante que representa un error de velocidad se alimenta tanto al elemento 254 de control proporcional como al elemento 256 de control integral de la
55 unidad 250 de control. La salida del elemento 254 de control proporcional y la salida del elemento 256 de control integral se suman por medio de una unidad 258 de suma. Por tanto, se genera una primera señal de referencia de paso, que se suministra a una unidad 264 de selección.

La recepción del impulso de activación conduce a una etapa en la salida del elemento 256 de control integral. Esta
60 etapa fuerza un movimiento rápido del ángulo de paso de pala. Se menciona que el impulso de activación que se aplica al elemento de control integral tiene el mismo efecto en la salida de referencia de paso de la unidad 250 de control que un gran error de velocidad negativo. Por tanto, el impulso 260a de activación actúa para reducir la velocidad de giro del rotor y contribuye así a evitar una situación exceso de velocidad de la turbina eólica.

65 Tal como puede observarse adicionalmente a partir de la figura 2, la unidad 270 de temporizador se conecta a un

generador 280 de funciones. Si el fallo o respectivamente la situación de baja tensión de la red 290 eléctrica dura más que una duración de tiempo predefinida de, por ejemplo, unos 4 segundos, la unidad de tiempo emitirá una orden de parada tanto para el generador 280 de funciones como para una puerta 272 AND.

5 Según la realización descrita en este caso, la puerta 272 AND recibe una segunda entrada desde una unidad 274 de comparación, que detecta si la velocidad real es mayor que la velocidad nominal. Si éste es el caso, la función rampa descrita anteriormente en la unidad 248 de referencia de velocidad se activa por la unidad 247 de conmutación.

10 En respuesta a la orden de parada descrita anteriormente, el generador 280 de funciones emitirá una función dependiente del tiempo, que es indicativa de un ángulo de paso mínimo en función del tiempo tras la recepción de la orden de parada. Esta función, que se representa en la figura 3 como una línea continua, representa una segunda señal de referencia de paso.

15 La señal de salida proporcionada por el generador 280 de funciones también se suministra a la unidad 264 de selección. La unidad 264 de selección selecciona la señal más grande de entre (a) la segunda señal de referencia de paso que se proporciona por el generador 280 de funciones y (b) la primera señal de referencia de paso que se proporciona por la unidad de suma como la señal de referencia de paso de pala final (referencia de paso). Esta señal de referencia de paso de pala final (referencia de paso) se presenta en un nodo 288 de salida del dispositivo 240 de control de velocidad de giro.

25 Se menciona que, en caso de que exista sólo un fallo muy breve en la red 290 eléctrica, no se emite una orden de parada. En su lugar, se genera un impulso 260b de activación inverso por el generador 260 de impulsos y se envía cuando la condición de la red 290 eléctrica haya retornado al estado normal. Esto fuerza una etapa negativa en el elemento 256 de control integral de la unidad 250 de control y eliminará al menos parcialmente la activación de paso de pala provocada por el impulso 260a de activación y que se envió cuando se produjo el fallo de la red 290 eléctrica.

30 Se observa que el dispositivo 240 de control de velocidad de giro puede permanecer en funcionamiento incluso cuando se produce un fallo más largo de la red 290 eléctrica. Esto elimina la necesidad de un nuevo procedimiento de arranque del dispositivo 240 de control de velocidad de giro incluso si la turbina eólica se detiene completamente.

35 La figura 3 muestra un diagrama que representa una variación de un ángulo de paso de pala para un rotor de una turbina eólica en respuesta a la detección de un mal funcionamiento de una red eléctrica a la que se conecta la turbina eólica. Como ya se ha mencionado anteriormente, la línea continua representa la segunda señal de referencia de paso proporcionada por el generador 280 de funciones representado en la figura 2. La línea discontinua representa el ángulo de paso de pala real.

40 Tan pronto como se detecta el fallo de la red eléctrica se aumenta lentamente el ángulo de paso mínimo. Al mismo tiempo, aumenta rápidamente el ángulo de paso real debido a la activación de paso durante la caída de la red. Si una ráfaga de viento hace que la velocidad del rotor aumente, el ángulo de paso aumenta de nuevo más rápido que la segunda señal de referencia de paso. Si la velocidad del rotor disminuye más rápido que la referencia de velocidad, la variación del ángulo de paso de pala se limita por el ángulo de paso de parada mínimo.

45 Tal como puede observarse a partir de la figura 3, durante los primeros 7 segundos después de que se haya detectado el fallo de la red eléctrica, el ángulo de paso de pala mínimo varía de manera relativamente lenta. Tras los 7 segundos, el ángulo de paso de pala mínimo varía más rápidamente hasta que el ángulo de paso de pala alcanza su posición de parada final aproximadamente 18 segundos después de que se haya detectado el fallo de la red eléctrica.

50 Debe observarse que la expresión “que comprende/comprendiendo” no excluye otros elementos o etapas y “un” o “una” no excluye una pluralidad. Además, pueden combinarse los elementos descritos en asociación con diferentes realizaciones. Debe observarse también que los símbolos de referencia en las reivindicaciones no deben interpretarse como limitativos del alcance de las reivindicaciones.

55 Con el fin de recapitular las realizaciones descritas anteriormente de la presente invención puede afirmarse que:

Al generar un impulso de activación en cuanto se produzca un fallo de la red eléctrica, el elemento 256 de control integral fuerza un movimiento rápido del ángulo de paso de pala.

60 Una ventaja del dispositivo de control de velocidad de giro descrito y del método de control de velocidad de giro descrito es que puede lograrse una reacción muy rápida ante un fallo de la red eléctrica. Una ventaja adicional es que el dispositivo de control de velocidad de giro permanece activo durante un periodo después de que se produzca el fallo. Por tanto, si el fallo dura sólo durante una duración de tiempo corta, no se necesita un procedimiento de arranque nuevo y prolongado para el dispositivo de control de velocidad de giro.

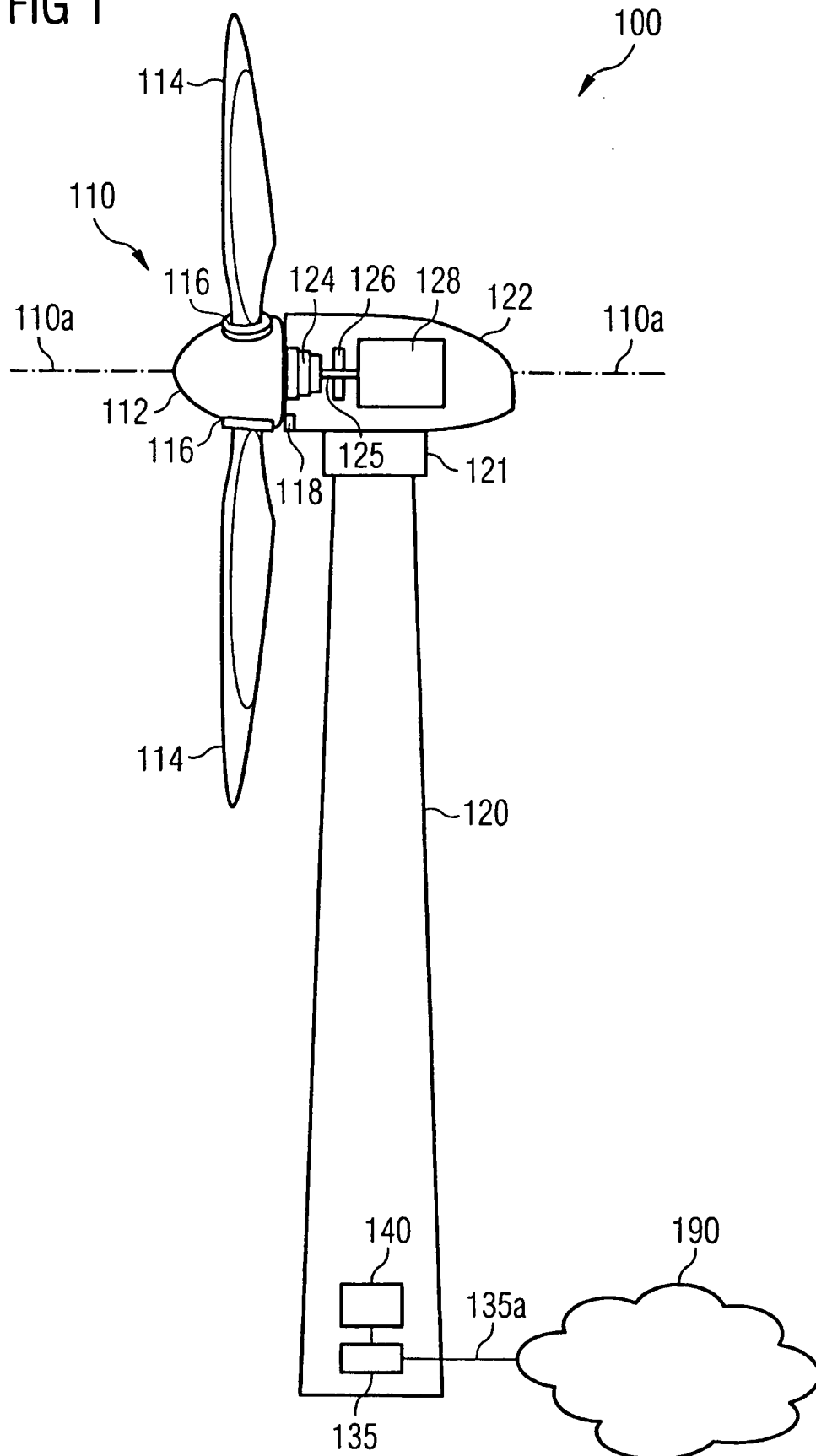
Si el fallo de la red eléctrica dura mucho, el hecho de que el dispositivo de control de velocidad de giro permanece activo garantiza que la turbina eólica pueda detenerse de una manera controlada. Esto puede reducir significativamente las cargas mecánicas en la torre y el sistema de orientación de la turbina eólica.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (140, 240) para controlar la velocidad de giro de un rotor (110) de una turbina (100) eólica para alimentar energía eléctrica a una red (190, 290) eléctrica, comprendiendo el dispositivo (140, 240)
 - un primer nodo (241) de entrada para recibir una primera señal que es indicativa de una velocidad de giro real del rotor (110),
 - un segundo nodo (242) de entrada para recibir una segunda señal que es indicativa de una velocidad de giro de referencia para el rotor (110),
 - una unidad (245) de detección para detectar una situación de funcionamiento defectuoso en la que la turbina (100) eólica no puede exportar energía eléctrica a la red (190, 290) eléctrica,
 - una unidad (250) de control para proporcionar una señal de referencia de un parámetro de funcionamiento característico de la turbina (100) eólica basándose en la primera señal y basándose en la segunda señal, siendo el parámetro de funcionamiento característico indicativo de la velocidad de giro del rotor (110), comprendiendo la unidad (250) de control un elemento (254) de control proporcional y un elemento (256) de control integral, y
 - un generador (260) de impulsos, que se conecta a la unidad (245) de detección y al elemento (256) de control integral y que está adaptado para enviar un impulso (260a) de activación al elemento (256) de control integral en respuesta a la detección del estado de funcionamiento defectuoso.
2. Dispositivo según la reivindicación anterior, que comprende además
 - un tercer nodo (243) de entrada para conectar el dispositivo (140, 240) a la red (190, 290) eléctrica, en el que la unidad (245) de detección se conecta al tercer nodo (243) de entrada, y en el que la unidad (245) de detección está adaptada para detectar un fallo eléctrico en la red (190, 290) eléctrica.
3. Dispositivo según la reivindicación anterior, en el que la unidad (245) de detección comprende un detector (246) de tensión.
4. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el parámetro de funcionamiento característico de la turbina (100) eólica es un ángulo de paso de pala de al menos una pala (114) del rotor (110).
5. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el generador (260) de impulsos está adaptado para enviar un impulso (260b) de activación inverso al elemento (256) de control integral.
6. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además
 - una unidad (270) de temporizador, que se conecta a la unidad (245) de detección y que está adaptada para proporcionar una señal de orden de parada a otros componentes (272, 280) del dispositivo (140, 240).
7. Dispositivo según la reivindicación anterior, en el que la velocidad de giro de referencia del rotor (110) es
 - una velocidad de giro independiente del tiempo que tiene un valor nominal predefinido (*SpeedNom*),
 - una velocidad de giro independiente del tiempo que tiene un valor de cero (*SpeedZero*) o
 - una velocidad de giro dependiente del tiempo que tiene una dependencia de tiempo predefinida, que se inicia en respuesta a la señal de orden de parada.
8. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que
 - la unidad (250) de control comprende una unidad (252) de sustracción para obtener un error de velocidad de giro sustrayendo la primera señal que es indicativa de la velocidad de giro real de la segunda señal que es indicativa de la velocidad de giro de referencia, y
 - el error de velocidad de giro se proporciona al elemento (254) de control proporcional y al elemento (256) de control integral.

9. Turbina eólica para generar energía eléctrica, comprendiendo la turbina (100) eólica
 - un rotor (110) que tiene al menos una pala (114), en la que
 - el rotor (110) puede girar alrededor de un eje (110a) de giro, y
 - la al menos una pala (114) se extiende radialmente con respecto al eje (110a) de giro,
 - un generador (128) que se acopla mecánicamente al rotor (110) para generar energía eléctrica a partir de un movimiento rotacional del rotor (110), y
 - un dispositivo (140, 240) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores para controlar la velocidad de giro del rotor (110).
10. Turbina eólica según la reivindicación anterior, que comprende además
 - un suministro (135) de energía ininterrumpido que se conecta al dispositivo (140, 240) para controlar la velocidad de giro del rotor (110).
11. Método para controlar la velocidad de giro de un rotor (110) de una turbina (100) eólica para alimentar energía eléctrica a una red (190, 290) eléctrica, comprendiendo el método
 - recibir una primera señal que es indicativa de una velocidad de giro real del rotor (110),
 - recibir una segunda señal que es indicativa de una velocidad de giro de referencia para el rotor (110),
 - detectar una situación de funcionamiento defectuoso en la que la turbina (100) eólica no puede exportar energía eléctrica a la red (190, 290) eléctrica,
 - proporcionar una señal de referencia de un parámetro de funcionamiento característico de la turbina (100) eólica basándose en la primera señal y basándose en la segunda señal, en el que el parámetro de funcionamiento característico es indicativo de la velocidad de giro del rotor (110),
 - enviar un impulso (260a) de activación desde un generador (260) de impulsos hasta un elemento (256) de control integral de una unidad (250) de control, e
 - integrar el impulso (260a) de activación de manera que la señal de referencia del parámetro de funcionamiento característico de la turbina (100) eólica cambie en respuesta a la detección del estado de funcionamiento defectuoso, en el que el cambio de la señal de referencia hace que el rotor (110) cambie su velocidad de giro.
12. Programa informático para controlar la velocidad de giro de un rotor (110) de una turbina (100) eólica para alimentar energía eléctrica a una red (190, 290) eléctrica, estando adaptado el programa informático, cuando se ejecuta por un dispositivo (140, 240) de control, para controlar el método según la reivindicación anterior.

FIG 1



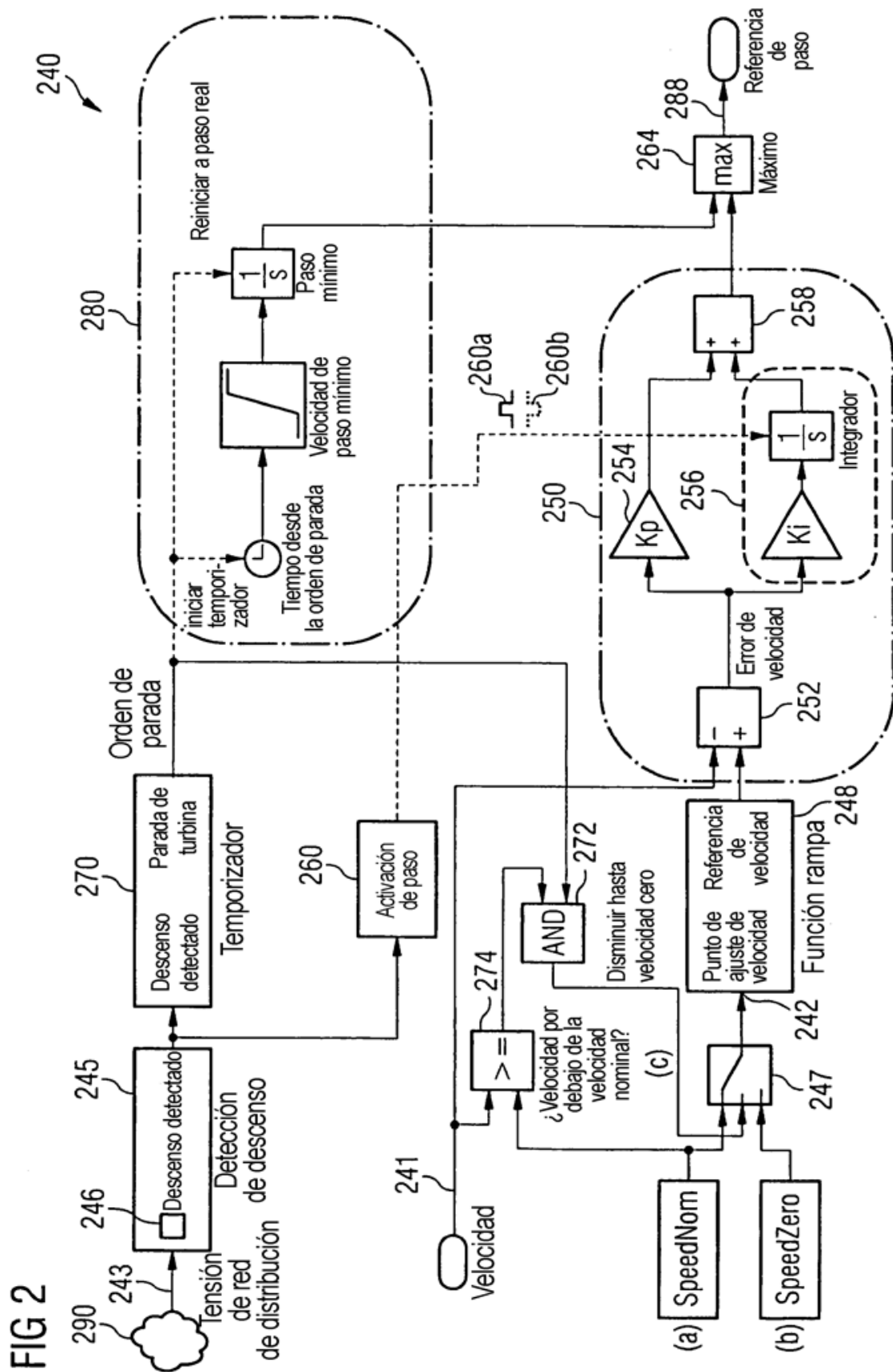


FIG 3

