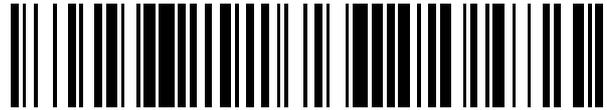


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 476 715**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.02.2009 E 09717519 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.05.2014 EP 2250370**

54 Título: **Adaptación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala**

30 Prioridad:

06.03.2008 DE 102008012956

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

15.07.2014

73 Titular/es:

SENVION SE (100.0%)

Überseering 10

22297 Hamburg, DE

72 Inventor/es:

WARFEN, KARSTEN y

LEWEKE, HENNING

74 Agente/Representante:

BOTELLA REYNA, Antonio

ES 2 476 715 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

Adaptación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala.

- 5 La invención se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica con un rotor que presenta al menos una pala de rotor, girándose o estando girada al menos una parte de la pala de rotor alrededor de un eje longitudinal de la pala de rotor en un ángulo de pala, efectuándose el giro de la al menos una parte de la pala de rotor con una tasa de ajuste de ángulo de pala predefinible, operándose el rotor a una velocidad de giro variable y delimitándose la tasa de ajuste de ángulo de pala mediante un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala
- 10 predefinible. La invención de refiere además a una planta de energía de eólica con un rotor que aloja al menos una pala de rotor, pudiendo girar al menos una parte de la pala de rotor alrededor de un eje longitudinal de la pala de rotor en un ángulo de pala, pudiéndose predefinir una tasa de ajuste de ángulo de pala y estando delimitada la tasa de ajuste de ángulo de pala por un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala.
- 15 Son conocidos los procedimientos correspondientes para el funcionamiento de una planta de energía eólica, así como las plantas de energía eólica correspondientes. En este sentido se remite, por ejemplo, al documento DE102006001613B4 del solicitante.

En el caso de los procedimientos para el funcionamiento de plantas de energía eólica y en el caso de las plantas de energía eólica se puede originar el problema de que la regulación o el control del sistema de control operativo ajuste de manera espontánea el ángulo de pala de la pala de rotor o de una parte de la pala de rotor en dirección 0°, lo que puede provocar cargas o velocidades de giro excesivas. Un ángulo de pala de 0° corresponde aquí a una posición de funcionamiento de la pala de rotor, en la que se genera una potencia máxima debido a la incidencia del viento. A diferencia de lo anterior se ha de mencionar la posición de bandera que es de 90° aproximadamente. En la posición

20 de bandera no se transmite potencia al rotor.

El documento WO2006/007838A1 describe un procedimiento para controlar la velocidad de variación del ángulo de ataque de una pala de rotor de turbina eólica en dirección de la posición de bandera al detenerse un rotor. En este caso están previstos dos niveles de velocidad diferentes para variar el ángulo de ataque, utilizándose un primer nivel de velocidad mayor para poner en movimiento la pala de rotor. Después de algunos segundos, el control conmuta al

30 segundo nivel de velocidad menor para pasar el ángulo de ataque a la posición de bandera a una velocidad constante.

Es objetivo de la presente invención proporcionar un procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica, así como una planta de energía eólica y un dispositivo de control o regulación de una planta de energía eólica que permitan reducir las cargas durante el funcionamiento, en particular que impidan cargas o velocidades de giro excesivas debido a una regulación o un control incorrecto del sistema de control operativo que gira de manera espontánea el ángulo de pala en dirección 0°.

35

Este objetivo se consigue mediante un procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica con un rotor que presenta al menos una pala de rotor, girándose o estando girada al menos una parte de la pala de rotor alrededor de un eje longitudinal de la pala de rotor en un ángulo de pala, efectuándose el giro de la al menos una parte de la pala de rotor con una tasa de ajuste de ángulo de pala predefinible, operándose el rotor con una velocidad de giro variable y delimitándose la tasa de ajuste de ángulo de pala mediante un valor límite de tasa de

40 ajuste de ángulo de pala predefinible, que se perfecciona al estar previsto un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala variable que se varía en dependencia de al menos un parámetro de funcionamiento de la planta de energía eólica, en particular en dependencia de la velocidad de giro de rotor y/o de al menos un parámetro ambiental.

45

Cuando se prevé un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala variable, que se varía en dependencia de al menos un parámetro de funcionamiento de la planta de energía eólica y/o de al menos un parámetro ambiental, prefiriéndose en particular que se varíe en dependencia de la velocidad de giro del rotor, la tasa de ajuste de ángulo de pala (tasa de pitch) se adapta al incremento de la velocidad de giro, determinado por el momento de inercia y la potencia alimentada, a diferencia del estado de la técnica, en el que el valor límite es un parámetro de control constante del sistema de control operativo que está predefinido fijamente. En el caso particular de una tasa de pitch

50 negativa, ésta se mantiene baja durante un período de tiempo correspondientemente largo, de modo que no se puede producir un tipo de carga, que reduzca masivamente la vida útil de la planta de energía eólica, debido a tasas de ajuste de ángulo de pala críticas.

55

En el marco de la invención, los parámetros de funcionamiento son en particular parámetros que están directa o

indirectamente en relación con la velocidad, por ejemplo, en particular la propia velocidad, la potencia, el momento del generador, el ángulo de pala o un ángulo de pala o la carga de la planta de energía eólica. En el marco de la invención, los parámetros ambientales a mencionar ventajosamente son la velocidad del viento, la dirección del viento, un gradiente de viento, el ángulo de un flujo incidente inclinado sobre el rotor, la densidad del aire, una turbulencia en la planta de energía eólica y/o en el entorno de la planta de energía eólica.

El funcionamiento del rotor a una velocidad de giro variable se refiere preferentemente a que en una realización particularmente preferida, la planta de energía eólica se puede operar de manera permanente en un intervalo de velocidad de giro superior a 5% por debajo de la velocidad de giro sincrónica del generador.

En el marco de la invención, la velocidad de giro sincrónica significa el coeficiente de la frecuencia de red f y el número de pares de polos $p/2$ del generador. En el caso de un generador de 4 polos (o sea, dos pares de polos) se obtiene, por ejemplo, en la red alemana de 50 Hz, una velocidad de giro sincrónica $n_{\text{sin}} = f \times 60 / (p/2) = 1500$ rpm. En el caso de un motor sincrónico con convertidor completo se debe entender por velocidad de giro sincrónica en particular la velocidad de giro sincrónica de la red, a la que la excitación del motor se opera con frecuencia de red.

El valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala variable se varía preferentemente en un dispositivo de regulación o control de buje en dependencia de la velocidad de giro del rotor. El valor de la tasa de ajuste de ángulo de pala permitida se reduce preferentemente al ajustarse el ángulo de pala en dirección 0° . Por tanto, una tasa de ajuste de ángulo de pala correspondiente es una tasa de ajuste de ángulo de pala negativa, cuyo valor se reduce.

El valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala se determina preferentemente antes de su variación o con su variación. Mediante la determinación se impiden valores límites de tasa de ajuste de ángulo de pala que, por lo demás, son posiblemente indefinidos.

Un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala variable está previsto preferentemente para una tasa de ajuste de ángulo de pala negativa.

Se prefiere que un primer valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala variable esté previsto para una tasa de ajuste de ángulo de pala positiva y que un segundo valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala variable esté previsto para una tasa de ajuste de ángulo de pala negativa. Esto permite adaptar en particular la dinámica del ajuste del ángulo de pala a las condiciones correspondientes. En particular es posible reaccionar con mucha rapidez a las ráfagas de viento negativas.

El procedimiento se utiliza preferentemente en un intervalo de velocidad de giro reducida y en particular preferentemente en el intervalo de carga parcial. Las magnitudes del primer y del segundo valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala variable son preferentemente diferentes a la misma velocidad de giro del rotor.

En caso de tasas de ajuste de ángulo de pala negativas está prevista preferentemente una curva característica del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala en dependencia de la velocidad de giro, en la que un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala máximo está previsto por debajo de una velocidad de giro límite inferior predefinible y un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala mínimo está previsto por encima de una velocidad de giro límite superior predefinible, estando prevista una curva característica constante entre el valor el valor límite máximo y el valor límite mínimo de tasa de ajuste de ángulo de pala. Por consiguiente, el procedimiento de funcionamiento se encuentra siempre en un estado definido.

Entre el valor límite máximo y el valor límite mínimo de tasa de ajuste de ángulo de pala está prevista preferentemente una curva característica lineal y/o cuadrada o existe una proporción lineal y/o cuadrada en la curva característica. De esta manera puede estar prevista una adaptación a la planta de energía eólica correspondiente o a la ubicación de la planta de energía eólica. La curva característica se puede seleccionar en dependencia de las condiciones climáticas, como la temperatura o la humedad. Así, por ejemplo, para velocidades de giro menores puede estar previsto que la curva característica presente en caso de tasas de ajuste de ángulo de pala negativas una transición de un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala superior predefinible en una dirección, que es relativamente suave a velocidades de giro mayores. Por tanto, se regula o se controla con una pendiente negativa hacia valores límites de tasa de ajuste de ángulo de pala menores.

En un buje de rotor de la planta de energía eólica se realiza preferentemente una detección de velocidad de giro. Esto permite enviar las velocidades de giro directamente a un dispositivo de control o regulación, dispuesto en el buje de rotor o junto al buje de rotor, para controlar o regular las tasas de ajuste de ángulo de pala. La detección de

velocidad de giro realizada en el buje de rotor o la detección de velocidad de giro prevista junto al buje de rotor se ejecuta preferentemente de manera adicional a una detección de velocidad de giro realizada por el sistema de control operativo. En este caso se pueden comparar también las velocidades de giro correspondientes, de modo que está previsto un aviso de error al existir una diferencia predefinible en la velocidad de giro.

5

Se filtra preferentemente la velocidad de giro de rotor utilizada para determinar el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala variable. A tal efecto, se puede formar, por ejemplo, un valor promedio mediante una cantidad predefinible de valores de medición. Asimismo, se puede ejecutar también de manera complementaria o únicamente un filtrado temporal, por ejemplo, mediante un elemento PT1 conocido en sí.

10

En relación con la medición de la velocidad de giro y la determinación ulterior de la velocidad de giro se remite en particular a la solicitud de patente DE102007026995.3 del solicitante. La divulgación de esta solicitud de patente debe estar contenida completamente en la presente solicitud de patente.

15 El valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala máximo respecto a la magnitud, en particular el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala mínimo absoluto en caso de tasas de ajuste de ángulo de pala negativas, es preferentemente de entre 3% a 15%, en particular 5% a 10%, por debajo de la velocidad de giro nominal de la planta de energía eólica y hacia velocidades de giro superiores. Por tanto, la velocidad de giro alta para la curva característica, a la que se alcanza el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala, está situada en el intervalo de
20 3% a 15%, en particular 5% a 10%, por debajo de la velocidad de giro nominal. En caso de un funcionamiento no limitado con viento suficiente, el procedimiento según la invención no influye negativamente sobre el intervalo dinámico de la regulación de la planta de energía eólica mediante el sistema de control operativo.

Está prevista preferentemente una medida complementaria que limita o reduce la magnitud de la pendiente o de la
25 velocidad de variación del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala. Se trata aquí preferentemente de un tipo de rampa que en caso de variaciones rápidas de la velocidad de giro garantiza que el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala, determinado mediante una curva característica, no sea directamente el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala utilizado, sino un valor que esté situado entre este valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala, determinado a partir de la curva característica, y un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala anterior.

30

En caso de existir una diferencia en la velocidad de giro respecto a una velocidad de giro nominal, en particular al no alcanzarse la velocidad de giro nominal, se varía el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala, sin provocar una reducción de la diferencia en la velocidad de giro. De esta manera, la planta de energía eólica puede seguir funcionando en un modo operativo deseado. En caso de existir una diferencia en la velocidad de giro respecto a una
35 velocidad de giro nominal, en particular al no alcanzarse la velocidad de giro nominal, se varía preferentemente el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala de tal modo que se limita o se restringe la tasa de ajuste de ángulo de pala permisible para conseguir la velocidad nominal.

El objetivo se consigue además mediante una planta de energía eólica con un rotor que presenta al menos una pala de rotor, pudiendo girar al menos una parte de la pala de rotor alrededor de un eje longitudinal de la pala de rotor en un ángulo de pala, pudiéndose predefinir una tasa de ajuste de ángulo de pala y estando delimitada la tasa de ajuste de ángulo de pala por un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala, que se perfecciona al estar previsto un dispositivo de control o regulación para la tasa de ajuste de ángulo de pala, en el que el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala está previsto como valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala variable que se varía o se ha
45 variado en dependencia de la velocidad de giro de rotor.

En el caso del dispositivo de control o regulación se puede tratar de un dispositivo de control o regulación que complementa el sistema de control operativo. Asimismo, en el sistema de control operativo se pueden ejecutar partes del procedimiento según la invención y en el dispositivo de control o regulación se pueden ejecutar otras
50 partes. El dispositivo de control o regulación puede estar integrado también completamente en el sistema de control operativo, prefiriéndose que al menos la detección de velocidad de giro tenga lugar en o junto al buje. El dispositivo de control o regulación presenta preferentemente un dispositivo de determinación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala. El dispositivo de determinación del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala puede ser también un módulo integrado en particular en el dispositivo de control o regulación. Se puede tratar también de un
55 algoritmo previsto en el dispositivo de control o regulación.

El dispositivo de determinación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala presenta preferentemente una curva característica del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala en dependencia de la velocidad de giro de la planta de energía eólica. La curva característica está almacenada preferentemente en el dispositivo de control o

regulación o se interpola por medio de parámetros predefinibles. Es posible también calcular la curva característica. La curva característica puede ser, por ejemplo, parcialmente lineal, o presentar un término cuadrado y/o un término cúbico.

- 5 Está previsto preferentemente un dispositivo de detección de velocidad de giro que se encuentra dispuesto en particular en o junto al buje de rotor. Además, está previsto preferentemente un filtro para una velocidad de giro de rotor medida. Está previsto también preferentemente un módulo de adaptación para el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala, mediante el que se puede reducir la magnitud de la pendiente de la tasa de ajuste de ángulo de pala y/o mediante el que se puede reducir o está limitada la magnitud de la velocidad de variación del valor límite de
- 10 tasa de ajuste de ángulo de pala. En este caso se trata en particular de la rampa ya mencionada arriba o el módulo de adaptación presenta esta rampa.

- Está previsto preferentemente un dispositivo de control o regulación de una planta de energía eólica, en el que se puede ejecutar un procedimiento según la invención. Además, está configurado un programa informático con medios
- 15 de código de programa que están adaptados para ejecutar el procedimiento según la invención si el programa informático se ejecuta en un dispositivo de control o regulación de una planta de energía eólica. El programa informático, según la invención, está almacenado preferentemente en un soporte de datos legible por un ordenador.

- La invención se describe a continuación por medio de ejemplos de realización con referencia a los dibujos, sin limitar
- 20 la idea general de la invención, remitiéndose expresamente a los dibujos en relación con todas las particularidades según la invención que no se explican en detalle en el texto. Muestran:

Fig. 1 una representación esquemática de partes de una planta de energía eólica;

- 25 Fig. 2 un diagrama de bloques esquemático de un procedimiento según la invención;

Fig. 3 una curva característica esquemática, según la invención, para tasas de ajuste de ángulo de pala negativas;

- Fig. 4 otra representación esquemática de curvas características, según la invención, para tasas de ajuste de ángulo
- 30 de pala negativas; y

Fig. 5 una representación esquemática de tres curvas características, según la invención, para tasas de ajuste de ángulo de pala positivas.

- 35 En las figuras siguientes, los elementos iguales o del mismo tipo o las partes correspondientes están provistos en cada caso de los mismos caracteres de referencia, de modo que se prescinde de una nueva presentación correspondiente.

- Una tasa de ajuste de ángulo de pala negativa está definida como tasa para un ajuste de ángulo de pala en
- 40 dirección desde la posición de bandera hasta la posición de 0° o posición de funcionamiento de la pala de rotor. Esto es válido para los valores límites de tasa de ajuste de ángulo de pala. Si el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala negativo es de $-3,5^\circ/\text{s}$, esto significa que la pala de rotor se puede mover a una velocidad de ajuste máxima de $3,5^\circ/\text{s}$ en dirección 0° , es decir, desde la dirección de la posición de bandera en dirección de la posición de funcionamiento normal.

45

- La figura 1 muestra esquemáticamente partes esenciales de una planta de energía eólica 11 en forma de un diagrama de bloques. Se muestra un rotor 9 con palas de rotor 10 de la planta de energía eólica 11, girando el rotor 9 a una velocidad de giro n . El rotor 9 tiene un árbol 12 que está montado en dos cojinetes 14 y 16. El árbol 12 es el árbol de entrada de un engranaje 18, no descrito en detalle, que transforma la velocidad de giro del árbol en una
- 50 velocidad de giro mayor, por ejemplo, en el factor 100. Un árbol de salida del engranaje 18 está acoplado a un árbol 24 de un generador de corriente trifásica 26 mediante un acoplamiento 22. Entre el rotor eólico 9 y el primer cojinete 14 está dispuesto un disco de bloqueo 28 de manera resistente al giro en el árbol 12, que interactúa con un elemento de enclavamiento 30. Si el elemento de enclavamiento 30 se introduce, por ejemplo, en un orificio o una entalladura del disco de bloqueo 28, se impide el giro del árbol 12.

55

Un disco de transmisión 32 está dispuesto de manera resistente al giro en la sección de árbol 20 cerca del acoplamiento 22. El mismo interactúa con una disposición de sensor 34, cuyas señales son enviadas a un ordenador 36. El ordenador 36, como regulador, envía una señal de ajuste de momento a un convertidor 38 para la corriente alterna producida por el generador 26. El convertidor 38 genera corriente alterna con parámetros predefinibles

correspondientes con el fin de alimentarla a una red.

El rotor 9 contiene un dispositivo de ajuste de ángulo de pala 39 para las palas 10 del rotor 9. El ordenador 36 envía al menos una señal de ajuste ϑ_i al dispositivo de ajuste de pala 39. En caso de un rotor de dos o más palas, cada pala puede generar una señal de ajuste. El regulador o el control se encuentran, por ejemplo, en o junto al ordenador 36. La señal real de velocidad de giro, que se determina mediante la disposición de sensor 34, se calcula en el ordenador 36 a partir de las señales de la disposición de sensor 34 y se puede comparar, por ejemplo, con una señal de valor nominal de velocidad de giro con el fin de determinar al menos una señal de ajuste ϑ_i para el dispositivo de ajuste de ángulo de pala 39.

Según la invención, la señal real de velocidad de giro n o la velocidad de giro de rotor n puede servir entonces como entrada para un dispositivo de control o regulación 42 según la invención, mediante el que se puede ejecutar el procedimiento según la invención. Un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala G o G' , determinado en el dispositivo de control o regulación 42, se envía a continuación al dispositivo de ajuste de ángulo de pala 39. A tal efecto, en el dispositivo de control o regulación 42 de la figura 1 está previsto tanto un dispositivo de determinación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala 43 como un módulo de adaptación 44 que se describen detalladamente con referencia a las figuras siguientes. De manera alternativa, una velocidad de giro de rotor n medida se puede enviar sólo o adicionalmente al dispositivo de control o regulación 42 mediante la disposición de sensor 34' situada en o junto al buje 41 del rotor 9. Los dispositivos 42, 43 y/o 44 están integrados preferentemente en el dispositivo de ajuste de pala 39.

La figura 2 muestra un diagrama de bloques esquemático de un procedimiento según la invención. La disposición de sensor 34', situada, por ejemplo, en el buje 41 del rotor 9 en la figura 1, genera una señal que está prevista para el cálculo de velocidad de giro. Está previsto, por ejemplo, un sensor de impulsos que registra, por ejemplo, los impulsos generados mediante 36 pernos por revolución. La velocidad de giro se promedia a partir de esto, por ejemplo, mediante la constante k que se puede ajustar y que representa una cantidad (por ejemplo, 6) de valores de medición. A este respecto, la velocidad de giro se calcula a partir de un valor promedio mediante k intervalos de tiempo entre el impulso e_{i-1} y el impulso e_i . Esto tiene lugar en el bloque 50 identificado como cálculo de velocidad de giro. La salida del cálculo de velocidad de giro n_a representa una velocidad de giro promedio que está prevista como entrada para el bloque identificado como filtro de velocidad de giro 51. En el filtro de velocidad de giro 51 se filtra la velocidad de giro, por ejemplo, mediante un elemento PT1, por ejemplo, con el parámetro $T1$ de 3,0 s. El parámetro $T1$ puede estar situado preferentemente en el intervalo de 1 s a 5 s. La determinación de velocidad de giro 50 o el cálculo de velocidad de giro 50, descrito antes, puede ser parte de una desconexión del buje por velocidad de giro excesiva y se puede consultar en el ciclo de 1 ms.

La salida del filtro de velocidad de giro 51 representa la velocidad de giro de rotor n que sirve como entrada para la curva característica de valor límite 52. En la curva característica de valor límite, que se describe detalladamente en el marco de las figuras 3 a 5, se calcula un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala G' para valores límites de tasa de ajuste de ángulo de pala negativos y para valores límites de tasa de ajuste de ángulo de pala positivos en dependencia de la velocidad de giro n , dependiendo de si la tasa de ajuste de ángulo de pala es negativa o positiva. En principio, ambos valores límites se pueden calcular o determinar también en cada caso.

Algunos parámetros se pueden registrar o predefinir o ya están almacenados de manera correspondiente en el bloque identificado como curva característica de valor límite 52 o en el respectivo dispositivo. En este caso se trata de un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala superior $G1$ para tasas de ajuste de ángulo de pala negativas ϑ , de un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala inferior $G2$ para tasas de ajuste de ángulo de pala negativas ϑ , de un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala superior $G3$ para tasas de ajuste de ángulo de pala positivas ϑ , así como de un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala inferior $G4$ para tasas de ajuste de ángulo de pala positivas ϑ . Además, los siguientes parámetros se pueden predefinir o pueden estar almacenados en la curva característica de valor límite, específicamente una velocidad de giro límite inferior $n1$, $n3$ y una velocidad de giro límite superior $n2$, $n4$, aplicándose $n1$ y $n2$ para tasas de ajuste de ángulo de pala negativas y $n3$, $n4$ para tasas de ajuste de ángulo de pala positivas.

Después de utilizarse la curva característica de valor límite 52 se proporciona un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala G' que representa un valor límite para una tasa de pitch o tasa de ajuste de ángulo de pala mínima en $^\circ/s$. En la limitación de variación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala 53 se supervisa o se garantiza que el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala no varíe demasiado rápido. Esto se realiza al consultarse la variación de valor límite dG' permisible en caso de una rampa descendente, así como la variación ds permisible en caso de una rampa ascendente. En este sentido es esencial, en particular para el funcionamiento seguro de la

planta de energía eólica, que el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala pueda variar sólo muy lentamente en caso de una rampa descendente, ya que así se puede excluir en cualquier caso que un aumento inmediato de la velocidad de giro o un aumento rápido de la velocidad de giro, causado por un sistema de control operativo defectuoso, provoque un valor límite crítico respecto a la seguridad, específicamente muy bajo, para la tasa de
 5 ajuste de pala. Una variación en dirección de una rampa ascendente se ha de implementar, por el contrario, de manera relativamente rápida con vista a garantizar la seguridad de la instalación. Por tanto, se registran o están predefinidos dos parámetros muy diferentes respecto a la magnitud, a saber, el valor ds que representa un parámetro para una rampa ascendente y que es, por ejemplo, de $+1,000^\circ/s^2$. Este parámetro puede estar situado preferentemente en un intervalo de $0,1$ a $2,000^\circ/s^2$. El otro valor df es un parámetro para una rampa descendente y
 10 es, por ejemplo, de $-0,015^\circ/s^2$ y está situado en particular preferentemente entre $-0,005^\circ/s^2$ y $0,05^\circ/s^2$.

En la limitación de variación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala 53 se ejecuta a continuación la siguiente consulta: para $G' > G + df$ se obtiene $G_{nuevo} = G + ds$, de lo contrario es válido para $G' > ds$: $G_{nuevo} = G + ds$, de lo contrario es válido $G_{nuevo} = G$, es decir, G' ya se encontraba en el intervalo permisible y se aplica. El valor G_{nuevo}
 15 determinado se le da salida como valor nuevo G y se utiliza a continuación en el bloque identificado como limitación de la tasa de ajuste de ángulo de pala 54.

El valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala G se relaciona con una señal de ajuste ϑ_i' , ϑ_i'' predefinida por el dispositivo de regulación o control de posición de pala 55, de modo que como salida del bloque identificado como
 20 limitación de la tasa de ajuste de ángulo de pala 54 se pone a disposición una limitación de las señales de ajuste ϑ_i' , ϑ_i'' mediante la utilización del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala G del dispositivo de ajuste de ángulo de pala 39. La señal de ajuste ϑ_i' , ϑ_i'' se obtiene en sí mediante el control o la regulación convencional y existente al predefinirse un valor nominal ϑ_s mediante el sistema de control operativo 56 y compararse con un valor real del ángulo de pala ϑ , determinado por el dispositivo de determinación de ángulo de pala 57, y al ponerse a disposición
 25 el resultado del dispositivo de regulación o control de posición de pala 55. Éste determina a continuación una señal de ajuste ϑ_i' y ϑ_i'' con el fin de adaptar el valor real de ángulo de pala ϑ al valor nominal ϑ_s que se envía al bloque identificado como limitación de la tasa de ajuste de ángulo de pala 54.

El cálculo de velocidad de giro 50, el filtro de velocidad de giro 51, la curva característica de valor límite 52 y la
 30 limitación de variación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala 53 pueden ser parte integral de un dispositivo de control o regulación 42. Una transición o una integración en la regulación existente tiene lugar en la zona de transición entre la limitación de variación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala 53 y la limitación de la tasa de ajuste de ángulo de pala 54.

El filtro en 51 configurado, por ejemplo, como elemento PT1, sirve para filtrar la velocidad de giro n . En este caso se filtran interferencias de señal y una parte del comportamiento de velocidad de giro dinámico. El tiempo de filtrado no debe ser demasiado grande para que el componente de curva característica o la aplicación de la curva característica de valor límite 52 pueda ajustar el procedimiento con suficiente rapidez a un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala G que corresponde a la velocidad de giro. A fin de evitar errores puede estar previsto que haya que
 40 determinar un valor de velocidad de giro aproximadamente igual mediante varios ciclos de medición, por ejemplo, tres ciclos de medición, antes de ser enviado al bloque 52.

La limitación de variación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala 53 o el respectivo componente de rampa permite reducir rápidamente la magnitud del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala, por ejemplo, de
 45 $-3,5^\circ/s$ en dirección a $-1,0^\circ/s$. La vía de retorno para aumentar la magnitud del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala, o sea, por ejemplo, de $-1,5^\circ/s$ a $-3,5^\circ/s$, se retarda con una pequeña pendiente de tal modo que en caso de un llamado "pitch run away" a velocidades de giro pequeñas del grupo motor, la tasa de ajuste de ángulo de pala negativa se mantiene baja durante un tiempo suficientemente largo. Este tipo de fallo "pitch run away" puede durar, por ejemplo, 20 s, lo que no resulta problemático en caso de la rampa prevista con los parámetros indicados.

De manera adicional a la limitación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala según la invención con G' o G , en el bloque 54 tiene lugar además básicamente una limitación con una tasa de ajuste de ángulo de pala máxima y/o mínima predefinible fijamente de, por ejemplo, $+6,5^\circ/s$ y $-6,5^\circ/s$. La señal de ajuste ϑ_i' , ϑ_i'' , limitada de esta
 50 manera, se envía a continuación al dispositivo de ajuste de pala 39. En una realización particularmente compacta de la invención, los grupos constructivos 50 a 54 están integrados en el dispositivo de regulación o control de posición de pala 55. En una realización más compacta y, por tanto, ventajosa, el dispositivo de regulación o control de posición de pala 55 está integrado también en el dispositivo de ajuste de ángulo de pala 39. Así, por ejemplo, el procedimiento puede estar implementado como algoritmo en el software del convertidor para controlar los

mecanismos de ajuste de pala o partes del procedimiento, ejecutando el software también la detección y el procesamiento de los valores de medición del sensor de velocidad de giro 34'.

5 El componente de curva característica o la curva característica de valor límite 52 se ha representado más detalladamente en las figuras 3 a 5. En primer lugar, en la figura 3 está representada una curva característica del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala en $\dot{\theta}$ en $^\circ/s$ en dependencia de la velocidad de giro n en revoluciones/min. En este caso aparece representado un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala superior $G1$ y un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala inferior $G2$. No está previsto un valor límite por encima del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala superior $G1$ ni por debajo del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala inferior $G2$, ya que éste no se puede producir al estar operativo el procedimiento de funcionamiento. En realidad existen mesetas correspondientes de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala a una altura de $G1$ por debajo de una velocidad de giro límite inferior $n1$ y, por consiguiente, una meseta a una altura de $G2$ por encima de una velocidad de giro límite superior $n2$. La tasa de ajuste de ángulo de pala positiva puede estar configurada sin valor límite y viceversa en caso de un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala negativo predefinido.

15 La velocidad de giro límite superior $n2$ está situada preferentemente en un intervalo de 5% a 10% por debajo de la velocidad de giro nominal nn . La curva característica representada para el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala G o G' ajusta los valores límites de tasa de ajuste de ángulo de pala negativos, posibles según la invención, en dependencia de la velocidad de giro actual n . Se previenen así errores del sistema de control operativo con tasa de ajuste de ángulo de pala alta en dirección 0° de tal modo que la planta de energía eólica puede controlar a partir de una tasa de ajuste de ángulo de pala negativa reducida mediante un monitor de velocidad de giro existente, por ejemplo, un error que genera una correspondiente señal de velocidad de giro excesiva en el árbol rápido a 1.950 rpm (a una velocidad de giro nominal de 1.800 rpm).

25 La denominación G , G' para el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala, determinado a partir de la velocidad de giro medida, indica que, por una parte, se puede especificar G' , como se explica en relación con la figura 2, pudiéndose utilizar aún el módulo de limitación de variación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala 53 en G' para formar G . De manera alternativa, G se puede obtener directamente de la curva característica y se puede utilizar directamente como valor límite al omitirse el módulo 53. No obstante, la utilización del módulo 53 es muy ventajosa para impedir el tipo de carga "pitch run away".

35 La tasa de ajuste de ángulo de pala se adapta de manera correspondiente al incremento de la velocidad de giro que se determina mediante el momento de inercia y la potencia alimentada. En el caso de velocidades de giro medidas por encima o por debajo de los puntos de apoyo $n1$ y $n2$ se le da salida a los correspondientes valores límites asignados $G1$ y $G2$. La relación lineal entre $n1$ y $n2$ representa un caso simple.

40 En la figura 4 se representa una funcionalidad cuadrada entre $n1$ y $n2$ (línea continua) y además una función que presenta un polinomio de tercer grado, por ejemplo, a la tercera potencia. De manera correspondiente puede estar previsto también un desarrollo en serie de Taylor que queda interrumpido después del segundo o del tercer término, o una curva característica en forma de una cadena poligonal cualquiera o de otra función matemática que se almacena, por ejemplo, en forma de una tabla de valores en una memoria. El recorrido óptimo de tal curva característica se determina preferentemente mediante cálculos de simulación dinámicos que son conocidos en el estado de la técnica.

45 La figura 5, por el contrario, muestra tres curvas características distintas en caso de tasas de ajuste de ángulo de pala positivas $\dot{\theta}$. Aquí aparecen representadas cuatro velocidades de giro límites, específicamente una velocidad de giro límite inferior $n3$ y dos velocidades de giro límites superiores $n4$ y $n5$, estando situadas $n3$ y $n4$ por debajo de la velocidad de giro nominal de la planta de energía eólica, mientras que $n5$ está situada, por el contrario, por encima de la velocidad de giro nominal de la planta de energía eólica. Están indicados también un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala inferior $G4$ y un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala inferior superior $G3$. Entre $n3$ y $n4$ se puede encontrar una relación lineal en una curva característica representada como línea continua. De manera correspondiente, la línea de puntos y rayas representa una relación cuadrada o una curva que presenta al menos una proporción cuadrada y, dado el caso, una proporción lineal.

55 La línea de puntos y rayas sirve como curva característica de valor límite, por ejemplo, si está previsto un funcionamiento con velocidad de giro reducida a velocidades altas del viento a fin de minimizar los ruidos. La línea discontinua prevé obtener el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala superior sólo a una velocidad de giro $n5$ por encima de la velocidad de giro nominal nn . De esta manera es posible una regulación más suave que se puede aplicar, por ejemplo, en condiciones meteorológicas de altas presiones. No obstante, puede estar previsto también

un valor incluso mayor que el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala superior G3, a continuación de la velocidad de giro límite superior n4, antes de alcanzarse la velocidad de giro nominal nn a fin de posibilitar una regulación más rápida.

- 5 Dado que está previsto según la invención un acoplamiento muy estrecho entre la velocidad de giro y el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala, es posible un control seguro del procedimiento de la planta de energía eólica. En este sentido resulta suficiente una determinación de la velocidad de giro en el intervalo de %, de modo que los errores en el cálculo de la velocidad de giro no influyen negativamente en la seguridad del control del procedimiento.
- 10 Cuando se alcanza la velocidad de giro nominal, la previsión de los valores límites de tasa de ajuste de ángulo de pala no es limitante preferentemente para el sistema de control operativo convencional. El procedimiento según la invención tampoco interfiere en el modo de carga parcial, ya que el regulador de ajuste de ángulo de pala o el control de ajuste de ángulo de pala está ajustado aquí a 0° y, por tanto, no se puede realizar ninguna variación. El procedimiento según la invención actúa preferentemente sólo en caso de reducciones deseadas, dependientes del proceso, que influyen sobre la velocidad de giro. En plantas de energía eólica modernas, esto se produce, por ejemplo, sólo en caso de una reducción de potencia de 40% aproximadamente, ya que sólo entonces se abandona aquí la velocidad de giro nominal.

Se prefiere además prever una realización redundante del procedimiento según la invención al implementarse éste, de manera adicional a la implementación en el dispositivo de control o regulación 42, en el convertidor a fin de controlar los mecanismos de ajuste de pala, o sea, dentro del dispositivo de ajuste de ángulo de pala 39. Se consigue así un funcionamiento particularmente seguro de la planta de energía eólica. Además, puede ser ventajoso implementar adicionalmente el procedimiento según la invención en el sistema de control operativo 56 para impedir avisos de errores si el ajuste de pala se realiza mediante el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala más lentamente que lo previsto por el sistema de control operativo. Por consiguiente, el sistema de control operativo 56 y el dispositivo de ajuste de ángulo de pala 39 funcionarían ventajosamente de manera sincrónica y se podrían supervisar mutuamente, lo que posibilita un funcionamiento más seguro aún de la instalación. El procedimiento según la invención para la reducción del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala tiene lugar preferentemente en el ciclo de 12 ms o, dado el caso, en el ciclo de 6 ms. Se pueden utilizar también otros ciclos, por ejemplo, entre 20 ms y 1 ms. Asimismo, puede estar previsto que haya que determinar un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala aproximadamente igual durante tres ciclos de tareas, o sea, tres veces, por ejemplo, 12 ms, antes de ser enviado al dispositivo de ajuste de ángulo de pala 39 para evitar errores. Si se produjeran diferencias correspondientemente grandes, por ejemplo, en particular diferencias respecto a los valores promedios, se puede enviar un aviso a una central de monitorización.

35

Lista de caracteres de referencia

9. Rotor

40 10. Pala de rotor

11. Planta de energía eólica

12. Árbol

45

14. Cojinete

16. Cojinete

50 18. Engranaje

20. Árbol de salida

22. Acoplamiento

55

24. Árbol

26. Generador de corriente trifásica

28. Disco de bloqueo
30. Elemento de enclavamiento
- 5 32. Disco de transmisión
- 34, 34'. Disposición de sensor
36. Ordenador
- 10 38. Convertidor
39. Dispositivo de ajuste de ángulo de pala
- 15 41. Buje de rotor
42. Dispositivo de control o regulación
43. Dispositivo de determinación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala
- 20 44. Módulo de adaptación
50. Cálculo de velocidad de giro
- 25 51. Filtro de velocidad de giro
52. Curva característica de valor límite
53. Delimitación de variación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala
- 30 54. Delimitación de la tasa de ajuste de ángulo de pala
55. Dispositivo de regulación o control de posición de pala
- 35 56. Sistema de control operativo
57. Dispositivo de determinación de ángulo de pala
- Nei. Señal de entrada i para velocidad de giro
- 40 n. Velocidad de giro de rotor
- n1, n3. Velocidad de giro límite inferior
- 45 n2, n4. Velocidad de giro límite superior
- nn. Velocidad de giro nominal
- $\vartheta_i, \vartheta_i'$. Señal de ajuste para ángulo de pala
- 50 $\dot{\vartheta}_i, \dot{\vartheta}_i'$. Señal de ajuste para tasa de ajuste de ángulo de pala
- ϑ . Ángulo de pala
- 55 $\dot{\vartheta}$. Tasa de ajuste de ángulo de pala
- G, G'. Valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala
- G1. Valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala superior para tasas de ajuste de ángulo de pala negativas

G2. Valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala inferior para tasas de ajuste de ángulo de pala negativas

5 G3. Valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala superior para tasas de ajuste de ángulo de pala positivas

G4. Valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala inferior para tasas de ajuste de ángulo de pala positivas

k. Constante

10 na. Velocidad de giro promedio

ds. Parámetro de ascenso de la rampa

df. Parámetro de descenso de la rampa

15

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica (11) con un rotor (9) que presenta al menos una pala de rotor (10), girándose o estando girada al menos una parte de la pala de rotor (10) 5 alrededor de un eje longitudinal de la pala de rotor (10) en un ángulo de pala (ϑ), efectuándose el giro de la al menos una parte de la pala de rotor (10) con una tasa de ajuste de ángulo de pala predefinible, operándose el rotor (9) a una velocidad de giro variable y delimitándose la tasa de ajuste de ángulo de pala (ϑ) mediante un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala predefinible (G, G', G1-G4), **caracterizado porque** está previsto un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala variable (G, G', G1-G4) que se varía en dependencia de al menos un parámetro de funcionamiento de la planta de energía eólica (11), en particular en dependencia de la velocidad de giro de rotor (n) 10 y/o de al menos un parámetro ambiental.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala (G, G', G1-G4) se determina antes de su variación o con su variación, estando previsto en particular 15 un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala variable (G1, G2) para una tasa de ajuste de ángulo de pala negativa (ϑ), estando previsto en particular un primer valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala variable (G3, G4) para una tasa de ajuste de ángulo de pala positiva (ϑ) y estando previsto un segundo valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala variable (G1, G2) para una tasa de ajuste de ángulo de pala negativa ($\hat{\vartheta}$), siendo diferentes las magnitudes del primer y del segundo valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala variable (G, G', G1-G4) a la 20 misma velocidad de giro del rotor.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** en caso de tasas de ajuste de ángulo de pala negativas (ϑ) está prevista una curva característica del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala (G, G', G1-G4) en dependencia de la velocidad de giro (n), estando previsto un valor límite de tasa de ajuste de 25 ángulo de pala máximo (G1) por debajo de una velocidad de giro límite inferior predefinible (n1) y estando previsto un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala mínimo (G2) por encima de una velocidad de giro límite superior predefinible (n2), estando prevista una curva característica constante entre el valor límite máximo y el valor límite mínimo de tasa de ajuste de ángulo de pala (G1, G2), estando prevista en particular entre el valor límite máximo y el valor límite mínimo de tasa de ajuste de ángulo de pala (G1, G2) una curva característica lineal y/o cuadrada o 30 existiendo una proporción lineal y/o cuadrada en la curva característica.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** en un buje de rotor (41) de la planta de energía eólica (11) se realiza una detección de velocidad de giro, estando filtrado en particular la velocidad de giro de rotor (n) utilizada para la determinación del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala 35 variable (G, G', G1-G4).
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** en particular en caso de tasas de ajuste de ángulo de pala negativas (ϑ), el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala (G1, G3) máximo respecto a la magnitud es de entre 3% a 15%, en particular 5% a 10%, por debajo de la velocidad de giro 40 nominal (nn) de la planta de energía eólica (11) y hacia velocidades de giro superiores (n).
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** está prevista una medida complementaria que limita o reduce la magnitud de la velocidad de variación del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala (G), variándose el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala (G, G') en particular en 45 caso de existir una diferencia en la velocidad de giro respecto a una velocidad de giro nominal (nn), en particular al no alcanzarse la velocidad de giro nominal (nn), sin provocar una reducción de la diferencia en la velocidad de giro.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** en caso de existir una diferencia en la velocidad de giro respecto a una velocidad de giro nominal (nn), en particular al no alcanzarse la 50 velocidad de giro nominal (nn), se varía el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala (G, G') de tal modo que se limita o se restringe una tasa de ajuste de ángulo de pala permisible (ϑ) para conseguir la velocidad nominal (nn).
8. Planta de energía de eólica (11) con un rotor (9) que presenta al menos una pala de rotor (10), pudiéndose girar al menos una parte de la pala de rotor (10) alrededor de un eje longitudinal de la pala de rotor (10) 55 en un ángulo de pala (ϑ), pudiéndose predefinir una tasa de ajuste de ángulo de pala (ϑ) y estando delimitada la tasa de ajuste de ángulo de pala (ϑ) por un valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala (G, G', G1-G4), **caracterizada porque** está previsto un dispositivo de control o regulación (42) para la tasa de ajuste de ángulo de pala (ϑ), en el que el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala (G, G', G1-G4) está previsto como valor límite

de tasa de ajuste de ángulo de pala variable (G, G', G1-G4) que se varía o se ha variado en dependencia de la velocidad de giro de rotor (n).

9. Planta de energía eólica según la reivindicación 8, **caracterizada porque** el dispositivo de control o regulación (42) presenta un dispositivo de determinación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala (43), presentando en particular el dispositivo de determinación de valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala (43) una curva característica del valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala (G, G', G1-G4) en dependencia de la velocidad de giro (n) de la planta de energía eólica.
- 10 10. Planta de energía eólica según la reivindicación 8 o 9, **caracterizada porque** está previsto un dispositivo de detección de velocidad de giro (34) dispuesto en particular en o junto al buje de rotor (41).
11. Planta de energía eólica según una de las reivindicaciones 8 a 10, **caracterizada porque** está previsto un filtro para una velocidad de giro de rotor medida (n).
- 15 12. Planta de energía eólica según una de las reivindicaciones 8 a 11, **caracterizada porque** está previsto un módulo de adaptación (44) para el valor límite de tasa de ajuste de ángulo de pala (G, G', G1-G4), mediante el que se puede reducir la magnitud de la pendiente de la tasa de ajuste de ángulo de pala (ϑ) y/o mediante el que se puede reducir o está limitada la magnitud de la velocidad de variación del valor límite de tasa de
- 20 ajuste de ángulo de pala (G).
13. Dispositivo de control o regulación (42) de una planta de energía eólica (11), en el que se puede ejecutar un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7.
- 25 14. Programa informático con medios de código de programa que están adaptados para ejecutar el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, si el programa informático se ejecuta en particular en un dispositivo de control o regulación (42) de una planta de energía eólica (11).
15. Programa informático según la reivindicación 14 que está almacenado en un soporte de datos legible
- 30 por un ordenador.

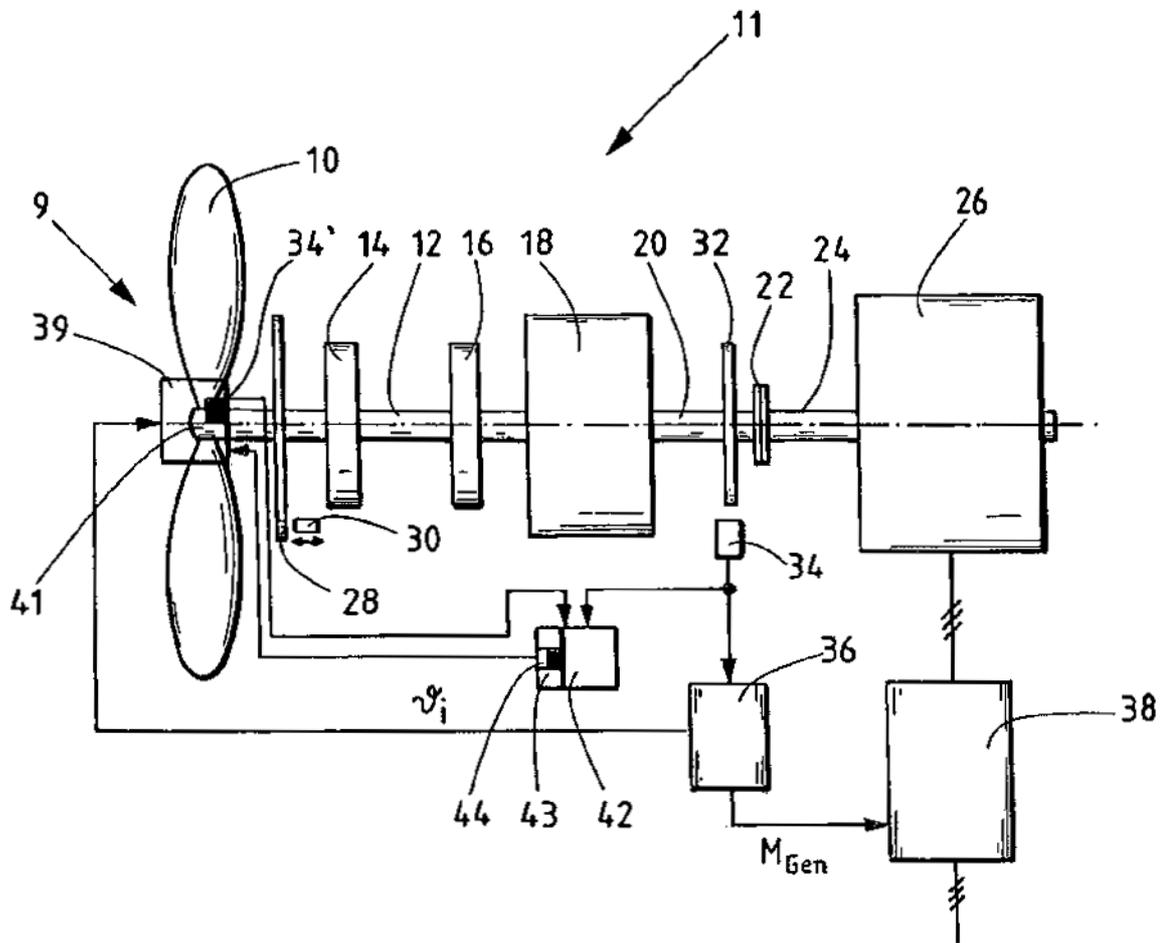


Fig. 1

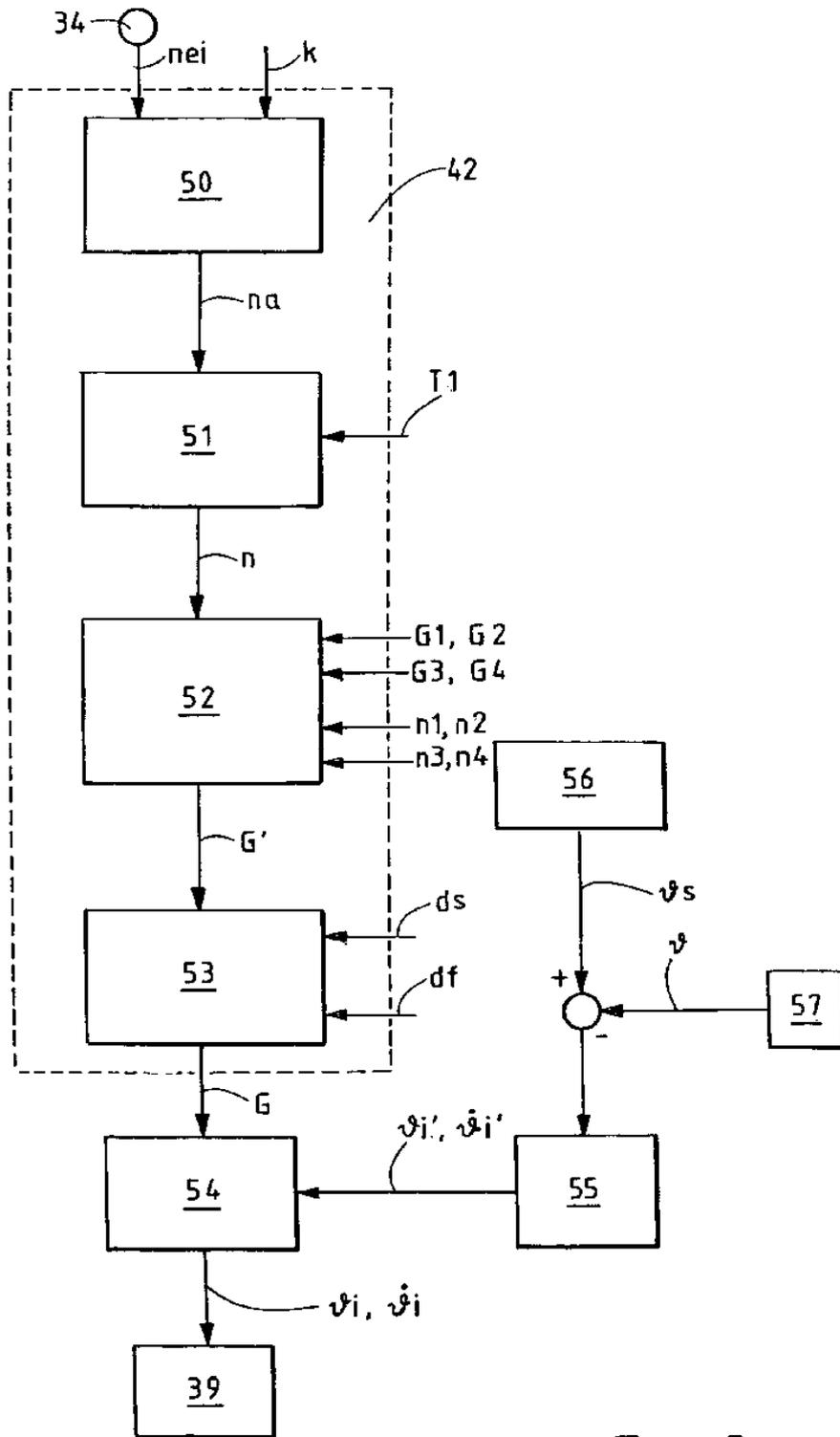


Fig. 2

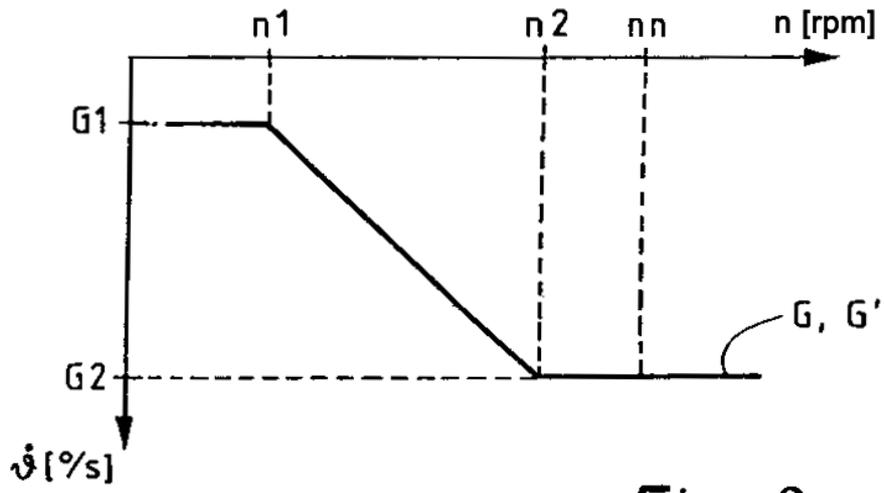


Fig. 3

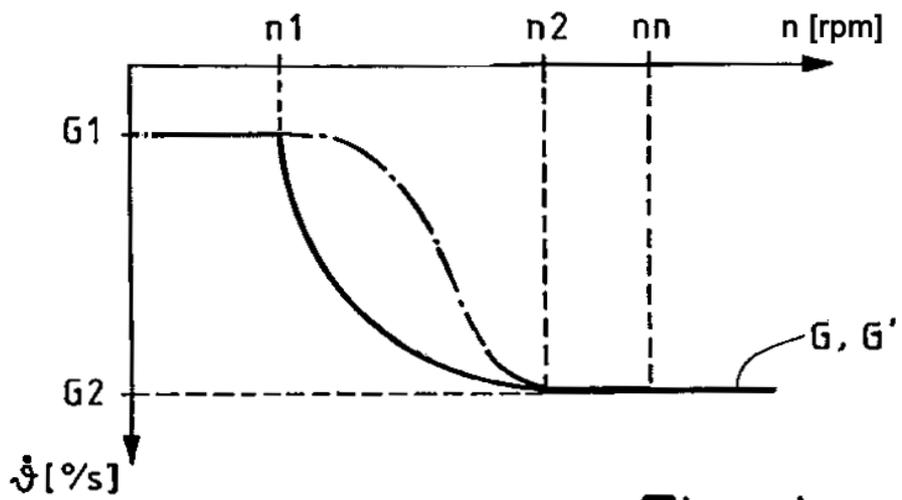


Fig. 4

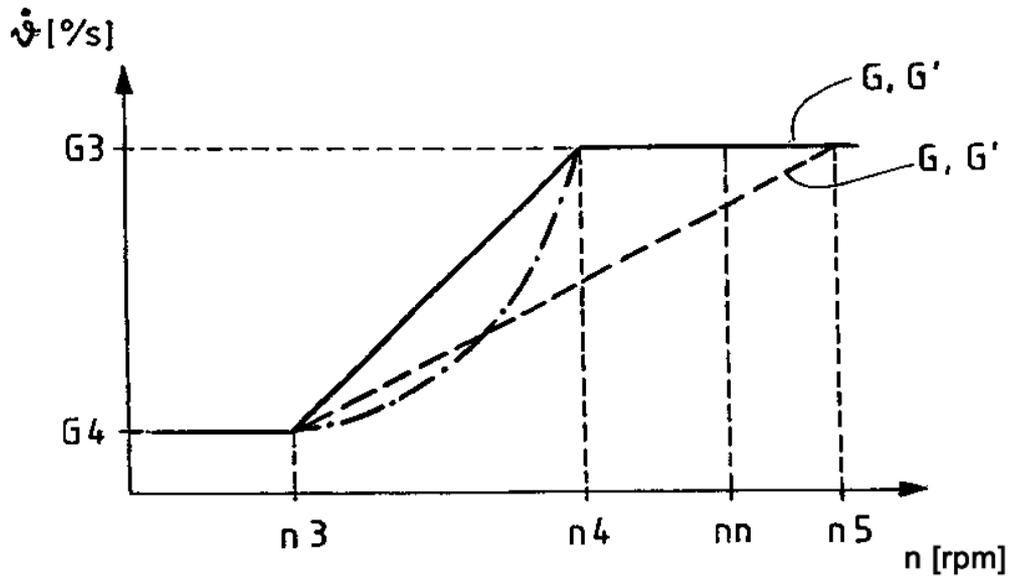


Fig. 5