

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 642 417**

51 Int. Cl.:

**F03D 80/40** (2006.01)

**F03D 7/04** (2006.01)

**F03D 17/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.09.2014** **E 14185606 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.07.2017** **EP 2998573**

54 Título: **Procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica con un dispositivo calefactor de pala de rotor**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**16.11.2017**

73 Titular/es:  
**NORDEX ENERGY GMBH (100.0%)**  
**Langenhorner Chaussee 600**  
**22419 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**RUNGE, INES y**  
**JACOB, DANELA**

74 Agente/Representante:

**ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María**

**ES 2 642 417 T3**

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

**DESCRIPCIÓN**

Procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica con un dispositivo calefactor de pala de rotor

5 La invención se refiere a un procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica, en el que se determina una temperatura actual de una pala de rotor y en dependencia de la temperatura determinada se activa y desactiva un dispositivo calefactor de pala de rotor.

10 En condiciones climáticas determinadas se puede producir la formación de hielo en las palas de rotor de plantas de energía eólica. Esto puede provocar una reducción del rendimiento aerodinámico, una elevada carga de la planta de energía eólica debido a desequilibrios y un peligro debido al hielo que se desprende. Por tanto, son conocidos diferentes dispositivos calefactores de pala de rotor que permiten eliminar el hielo adherido a las palas de rotor (de-icing) o contrarrestar la formación de hielo antes de producirse (anti-icing). Un control exacto del dispositivo calefactor de pala de rotor es determinante para mantener bajo el consumo energético del dispositivo calefactor de pala de rotor, evitar sobrecalentamientos de la pala de rotor y al mismo tiempo descongelar o impedir de manera fiable una nueva formación de hielo.

20 Por el documento EP2626557A1 es conocido un procedimiento para el control de un dispositivo calefactor de pala de rotor, en el que las pérdidas de calor en la pala de rotor se calculan sobre la base de la temperatura ambiente, la velocidad del viento y la velocidad de giro del rotor. La planta de energía eólica se debe operar en dependencia de las pérdidas del calor calculadas. En particular se debe activar un dispositivo calefactor de pala de rotor o reducir la velocidad de giro del rotor.

25 Por el documento EP1573199B1 es conocido otro procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica con un dispositivo calefactor de pala de rotor. El procedimiento se refiere especialmente a la situación, en la que no hace viento o la velocidad del viento es muy baja. En este caso, el generador de la planta de energía eólica se debe usar como motor para operar el rotor a una velocidad de giro de rotor baja. Al mismo tiempo, el ángulo de paso de las palas de rotor se deben ajustar de modo que se mantenga limitada la formación de hielo en el borde de ataque, en el que está situado un dispositivo calefactor de pala de rotor.

30 El documento US201002244621 da a conocer un procedimiento según el preámbulo de la reivindicación 1.

35 Otra posibilidad conocida para el control de un dispositivo calefactor de pala de rotor usa varios sensores de temperatura dispuestos en la superficie de la pala de rotor. Estos sensores de temperatura miden una temperatura actual de la pala de rotor. En dependencia de la temperatura medida se activa y desactiva a continuación un dispositivo calefactor de pala de rotor. De esta manera es posible mantener la pala de rotor a una temperatura deseada. Sin embargo, resulta desventajoso el coste elevado que implica el uso de sensores de temperatura. Esto se aplica al montaje de los sensores de temperatura y en particular a su mantenimiento y reparación en caso necesario.

40 Partiendo de lo anterior, el objetivo de la invención es poner a disposición un procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica, en el que se determine una temperatura actual de una pala de rotor y se active y desactive un dispositivo calefactor de pala de rotor en dependencia de la temperatura actual determinada y que se pueda ejecutar con medios más simples, así como poner a disposición una planta de energía eólica correspondiente.

Este objetivo se consigue mediante el procedimiento con las características de la reivindicación 1. En las reivindicaciones subsiguientes aparecen configuraciones ventajosas.

50 El procedimiento sirve para el funcionamiento de una planta de energía eólica y presenta las siguientes etapas:

- determinar una temperatura actual de una pala de rotor,
- activar y desactivar un dispositivo calefactor de pala de rotor en dependencia de la temperatura actual determinada, ejecutándose las siguientes etapas para determinar la temperatura actual:
- 55 • adoptar un valor de temperatura inicial y
- calcular un cambio de temperatura teniendo en cuenta al menos un valor característico predefinido para el comportamiento de la temperatura de la pala de rotor y al menos un parámetro operativo de la planta de energía eólica.

60 La temperatura actual de la pala de rotor, determinada mediante el procedimiento, puede ser en principio una temperatura cualquiera que indique una formación de hielo en la pala de rotor. En particular se puede tratar de una temperatura superficial de la pala de rotor.

65 El dispositivo calefactor de pala de rotor puede presentar un elemento calefactor eléctrico, a través del que circula una corriente calefactora eléctrica al estar activado el dispositivo calefactor, en particular a lo largo de una dirección longitudinal de pala de rotor. El elemento calefactor puede presentar un material plano, conductor de electricidad,

por ejemplo, un tejido o una malla de fibras de carbono, en particular en forma de una manta térmica.

5 En el caso de la invención, la temperatura actual de la pala de rotor no se determina mediante una medición de la temperatura en la pala de rotor, sino mediante un cálculo que determina la temperatura actual con el cálculo continuo del cambio de temperatura a partir de un valor de temperatura inicial. Cuando se calcula el cambio de temperatura, se tiene en cuenta al menos un valor característico predefinido para el comportamiento de la temperatura de la pala de rotor. Este valor característico es característico de la construcción de la pala de rotor en cuestión y se puede usar para describir el perfil temporal de la temperatura de la pala de rotor. En principio es posible determinar el valor característico sobre la base de la geometría, así como de las propiedades de la superficie y/o del material de los elementos de la pala de rotor en modelos de cálculo. Es posible asimismo una determinación experimental del valor característico.

15 Durante el cálculo del cambio de temperatura se tiene en cuenta además al menos un parámetro operativo de la planta de energía eólica. En este caso se puede tratar en particular de un parámetro disponible fácilmente dentro de un sistema de dirección de la planta de energía eólica. Es evidente que al calcularse el cambio de temperatura se pueden tener en cuenta también otros valores, en particular condiciones ambientales, por ejemplo, una temperatura ambiente, una presión del aire o una humedad del aire.

20 Partiendo de un valor de temperatura inicial, basado en un supuesto plausible, el cálculo continuo del cambio de temperatura da buenos resultados teniendo en cuenta valores disponibles que se han de determinar solo una vez o que ya están disponibles fácilmente. Una medición de la temperatura actual de la pala de rotor no está prevista en la invención ni es necesaria para un control correcto del dispositivo calefactor de pala de rotor. Esto permite prescindir del uso de sensores de temperatura en la pala de rotor que tienden a requerir trabajos de reparación. La estructura de la planta de energía eólica se puede simplificar significativamente y se consigue además una fiabilidad particularmente alta durante el control del dispositivo calefactor de pala de rotor.

30 En una configuración, el dispositivo calefactor de pala de rotor se activa si la temperatura actual determinada es inferior a una temperatura mínima predefinida. Esta medida se ha de aplicar solo cuando las condiciones operativas actuales de la planta cumplen condiciones del entorno para una formación de hielo en la pala de rotor, en particular en caso de precipitaciones o al superarse una humedad determinada del aire. Una activación oportuna del dispositivo calefactor de pala de rotor contrarresta una formación de hielo.

35 En una configuración, el dispositivo calefactor de pala de rotor se desactiva si la temperatura determinada supera una temperatura máxima predefinida. Esta medida evita fácilmente un sobrecalentamiento de la pala de rotor y un consumo de energía innecesario del dispositivo calefactor de pala de rotor.

40 En una configuración, el al menos un valor característico predefinido incluye una constante de tiempo para el comportamiento del calentamiento y/o enfriamiento de la pala de rotor. La constante de tiempo se refiere a una función exponencial que describe el perfil de temperatura en un intervalo de tiempo determinado. Se trata de un valor característico importante para describir el comportamiento de la temperatura en la pala de rotor.

45 En una configuración, el al menos un valor característico predefinido incluye una diferencia de temperatura máxima que se puede obtener con el dispositivo calefactor de pala de rotor. La diferencia de temperatura máxima es el valor límite de la temperatura de la pala de rotor que se presenta después de un funcionamiento continuo del dispositivo calefactor de pala de rotor, menos la temperatura ambiente. Se trata de un valor característico determinante para el perfil de temperatura al estar activado el dispositivo calefactor de pala de rotor.

50 En una configuración, la constante de tiempo y/o la diferencia de temperatura máxima dependen de una velocidad del viento y/o de una velocidad de giro del rotor. En estas configuraciones se tiene en cuenta que en el caso de los valores característicos mencionados para el comportamiento de la temperatura en la pala de rotor no se trata de valores fijos, sino que estos valores pueden depender de los parámetros operativos y/o de las condiciones ambientales. Durante el cálculo del cambio de temperatura se pueden usar los valores correspondientes a las condiciones operativas y ambientales como constante de tiempo y como diferencia de temperatura máxima en cada intervalo de tiempo considerado. Con este fin se pueden usar funciones matemáticas para el valor característico respectivo, que describan la dependencia de la velocidad del viento y/o de la velocidad de giro. Alternativamente, el valor característico respectivo puede estar almacenado como diagrama característico o en forma de tabla. Al tenerse en cuenta los valores característicos, que corresponden a las condiciones operativas y/o ambientales actuales, se aumenta la exactitud durante el cálculo del perfil de temperatura.

60 En una configuración, el al menos un parámetro operativo incluye una velocidad de giro de rotor. La velocidad de giro de rotor tiene una gran influencia sobre el desarrollo de la temperatura, porque es decisiva para la velocidad de flujo en la pala de rotor y, por tanto, para el enfriamiento de la pala de rotor por el aire. Como ya se explicó, la velocidad de giro de rotor se puede tener en cuenta en particular al seleccionarse los valores característicos correspondientes al estado operativo actual.

65 En una configuración, el al menos un parámetro operativo incluye un estado del dispositivo calefactor de pala de

rotor. El estado puede ser una potencia eléctrica actual del dispositivo calefactor de pala de rotor o el funcionamiento del dispositivo calefactor de pala de rotor con un nivel de potencia determinado. Es posible asimismo tener en cuenta una información de conexión/desconexión. Los estados mencionados tienen asimismo una influencia esencial sobre el desarrollo de la temperatura de la pala de rotor.

5 En una configuración, el valor de temperatura inicial adoptado corresponde a una temperatura ambiente medida. Este supuesto implica que la pala de rotor y el ambiente se encuentran en equilibrio térmico y es en muchos casos plausible, en particular cuando el dispositivo calefactor de pala de rotor ha estado desactivado durante un período de tiempo más largo.

10 En una configuración, el dispositivo calefactor de pala de rotor se desactiva durante un período de tiempo predefinido en intervalos de tiempo predefinidos y la temperatura ambiente se adopta a continuación como valor de temperatura inicial. Este proceso se puede ejecutar, por ejemplo, una vez al día. El período de tiempo predefinido, durante el que se desactiva el dispositivo calefactor de pala de rotor, puede durar, por ejemplo, dos constantes de tiempo o más. De esta manera se determina en intervalos regulares un valor de temperatura inicial plausible que puede servir como base para los demás cálculos.

15 En una configuración, el dispositivo calefactor de pala de rotor se activa durante un período de tiempo predefinido y a continuación se adopta como valor de temperatura inicial la temperatura ambiente más una diferencia de temperatura máxima que se puede obtener con el dispositivo calefactor de pala de rotor. Este proceso se puede repetir también en intervalos de tiempo predefinidos, por ejemplo, una vez al día. El período de tiempo predefinido puede ser igual, por ejemplo, a dos constantes de tiempo o más. De esta manera se puede poner a disposición también un valor de temperatura inicial plausible. Este procedimiento es adecuado en particular para temperaturas ambientales bajas, a las que se podría esperar una formación de hielo no deseada en la pala de rotor en caso de una desactivación posible alternativamente del dispositivo calefactor de pala de rotor durante un período de tiempo predefinido.

20 En una configuración, el dispositivo calefactor de pala de rotor se activa en varios niveles de potencia diferentes, dependiendo de al menos un valor característico para el comportamiento de la temperatura de la pala de rotor, que se ha tenido en cuenta durante el cálculo del cambio de temperatura, de un nivel de potencia activado. En particular es posible seleccionar una diferencia de temperatura máxima que se puede conseguir en el nivel de potencia activado en cuestión.

25 En una configuración, la temperatura actual se determina para varios puntos predefinidos en la pala de rotor. Los valores característicos, usados en este sentido, para el comportamiento de la temperatura de la pala de rotor pueden estar relacionados a continuación especialmente con los puntos predefinidos. En particular se pueden incluir en la evaluación aquellos puntos, en los que estaban previstos sensores de temperatura en caso de palas de rotor convencionales que tenían en cambio la misma construcción. Durante el control del dispositivo calefactor de pala de rotor se puede hacer uso entonces de valores empíricos.

30 En una configuración, durante la activación del dispositivo calefactor de pala de rotor se evalúa aquel punto, para el que se determinó la temperatura más baja y/o durante la desactivación del dispositivo calefactor de pala de rotor se evalúa aquel punto, para el que se determinó la temperatura más alta. De este modo se impide que en todos los puntos de la pala de rotor se supere una temperatura máxima o no se alcance una temperatura mínima.

35 El objetivo mencionado arriba se consigue asimismo mediante la planta de energía eólica con las características de la reivindicación 15. La planta de energía eólica tiene un dispositivo calefactor de pala de rotor y un control que puede activar y desactivar el dispositivo calefactor de pala de rotor en dependencia de una temperatura actual determinada de una pala de rotor, estando configurado el control para ejecutar las siguientes etapas con el fin de determinar la temperatura actual:

- adoptar un valor de temperatura inicial y
- calcular un cambio de temperatura teniendo en cuenta al menos un valor característico predefinido para el comportamiento de la temperatura de la pala de rotor y al menos un parámetro operativo de la planta de energía eólica.

40 Con respecto a las características y las ventajas de la planta de energía eólica se remite a las siguientes explicaciones del procedimiento, según la invención, que se aplican de manera correspondiente. Es evidente que la planta de energía eólica, en particular el control, puede estar configurada para ejecutar las configuraciones particulares del procedimiento que se explicaron antes.

La invención se explica en detalle a continuación por medio de un ejemplo de realización representado en dos figuras. Muestran:

65 Fig. 1 una representación simplificada de una planta de energía eólica según la invención;  
Fig. 2 un diagrama del perfil de temperatura en una pala de rotor; y

Fig. 3 otro diagrama sobre el perfil de temperatura en una pala de rotor.

La figura 1 muestra una planta de energía eólica 10 que presenta una torre 12, una góndola 14 y un rotor 16. El rotor 16 tiene un buje de rotor 18, en el que están fijadas varias palas de rotor 20. Cada una de las palas de rotor 20 presenta un dispositivo calefactor de pala de rotor 22. En la góndola 14 está situado un control 24, configurado para activar y desactivar los dispositivos calefactores de pala de rotor 22. Esto se ha indicado solo esquemáticamente mediante las líneas discontinuas.

El control 24 está configurado también para determinar una temperatura actual de una pala de rotor. Esto se puede llevar a cabo individualmente para cada una de las palas de rotor existentes 20 o conjuntamente para todas las palas de rotor 20. El control 24 activa y desactiva los dispositivos calefactores de pala de rotor 22 en dependencia de la temperatura actual determinada.

Para determinar la temperatura actual de la pala de rotor, el control 24 no usa ningún sensor de temperatura dispuesto en las palas de rotor 20. En su lugar, el control 24 adopta un valor de temperatura inicial plausible  $T_{start}$  y calcula continuamente un cambio de temperatura. En este sentido, el control 24 tiene en cuenta una diferencia de temperatura máxima  $\Delta T_{m\acute{a}x.}(n)$  y una constante de tiempo  $\tau(n)$  como valores característicos predefinidos para el comportamiento de la temperatura de las palas de rotor 22. Estos dos valores característicos dependen, por su parte, de la velocidad de giro de rotor  $n$ . Además, el control 24 tiene en cuenta durante el cálculo del cambio de temperatura una velocidad de giro de rotor  $n$  que es un parámetro operativo de la planta de energía eólica 10.

Otros detalles del procedimiento según la invención se explican por medio de la figura 2. El diagrama muestra el perfil de la temperatura ambiente  $T_U$ , así como el perfil de la temperatura actual determinada  $T_{actual}$  de las palas de rotor 20.

En el momento  $t_1$  se adopta la temperatura ambiente  $T_U$  como valor de temperatura inicial. A partir de aquí se calcula continuamente el cambio de temperatura. La temperatura actual  $T_{actual}$  de la pala de rotor, que se ha determinado de esta manera, está representada con puntos en el diagrama y se compone de varios segmentos de tiempo explicados a continuación.

En el momento  $t_1$ , el dispositivo calefactor de pala de rotor 22 estuvo desactivado durante un período de tiempo mayor. Por tanto, es plausible el supuesto de que la temperatura de la pala de rotor corresponde a la temperatura del aire ambiente, de modo que la temperatura ambiente  $T_U$  se puede adoptar como valor de temperatura inicial  $T_{start}$ . En el momento  $t_1$ , la temperatura actual determinada  $T_{actual}$  de la pala de rotor se encuentra dentro del intervalo de temperatura deseado entre una temperatura mínima  $T_{m\acute{i}n.}$  y una temperatura máxima  $T_{m\acute{a}x.}$ . El dispositivo calefactor de pala de rotor se mantiene, por tanto, desactivado y el cambio de temperatura de la pala de rotor sigue esencialmente a la temperatura ambiente.

En el momento  $t_2$ , la temperatura actual  $T_{actual}$  de las palas de rotor 20, determinada de esta manera, no alcanza la temperatura mínima  $T_{m\acute{i}n.}$ , de modo que el dispositivo calefactor de pala de rotor 22 se activa en ese momento mediante el control 24. En el ejemplo se selecciona una potencia calorífica que corresponde a un tercio de la potencia calorífica máxima del dispositivo calefactor de pala de rotor. A este nivel de potencia está asignada una diferencia de temperatura máxima  $\Delta T_{m\acute{a}x.,1}$ , dependiente de la velocidad de giro de rotor  $n$ , como valor característico del comportamiento de la temperatura. Durante el calentamiento, el cálculo se basa en un incremento exponencial de la temperatura, aplicándose la siguiente fórmula para el cambio de temperatura:

$$\Delta T(t) = \Delta T_{m\acute{a}x.,1} \cdot (1 - e_2^{-(t-t_2)/\tau})$$

La constante de tiempo  $\tau$  de la fórmula es otro valor característico del comportamiento de la temperatura de las palas de rotor 20, que depende, por su parte, de la velocidad de giro de rotor  $n$ .

En el momento  $t_3$ , la temperatura determinada de la pala de rotor aumentó a la temperatura máxima  $T_{m\acute{a}x.}$ , de modo que el dispositivo calefactor de pala de rotor 22 se desactiva. Hasta el momento  $t_4$  tiene lugar otra fase, en la que se enfrían las palas de rotor 20. A tal efecto, se vuelve a adoptar un descenso exponencial de la temperatura a la temperatura ambiente  $T_U$ .

En el momento  $t_4$ , la temperatura actual determinada  $T_{actual}$  de la pala de rotor vuelve a quedar por debajo de la temperatura mínima  $T_{m\acute{i}n.}$  y, por tanto, se vuelve a activar el dispositivo calefactor de pala de rotor, en el ejemplo nuevamente con el nivel de potencia activado en el momento  $t_2$ .

En el momento  $t_5$  se vuelve a alcanzar la temperatura máxima  $T_{m\acute{a}x.}$  y el dispositivo calefactor de pala de rotor 22 se desactiva, por consiguiente, en el momento  $t_6$ , en el que la temperatura actual determinada  $T_{actual}$  de la pala de rotor vuelve a quedar por debajo de la temperatura mínima  $T_{m\acute{i}n.}$

En el momento  $t_6$ , el dispositivo calefactor de pala de rotor 22 se activa en el ejemplo con su nivel de potencia máximo. A este nivel de potencia está asignada una diferencia de temperatura máxima  $\Delta T_{m\acute{a}x,2}$  que es mayor que  $\Delta T_{m\acute{a}x,1}$ , de modo que se obtiene una función exponencial ascendente de manera más empinada. La temperatura actual determinada  $T_{actual}$  sigue a esta función, hasta que en el momento  $t_7$  se alcanza nuevamente la temperatura máxima  $T_{m\acute{a}x}$  y se desactiva el dispositivo calefactor de pala de rotor 22. A continuación tiene lugar otra fase de enfriamiento.

La figura 3 muestra otra realización del procedimiento según la invención. La temperatura ambiente  $T_U$  está situada en un intervalo inferior a 0 °C. No es posible desconectar el dispositivo calefactor de pala de rotor 22 para ajustar el valor de temperatura inicial  $T_{start}$  a la temperatura ambiente  $T_U$ , porque la pala de rotor se congelaría.

El dispositivo calefactor de pala de rotor 22 se activa en el momento  $t_1$  y funciona a un nivel de calentamiento bajo, de modo que hasta el momento  $t_2$  hay una temperatura  $T_{start}$ . Esta temperatura corresponde a la temperatura ambiente  $T_U$  más la diferencia de temperatura  $\Delta T_{m\acute{a}x,1}$  que se puede alcanzar al máximo con el nivel de calentamiento bajo. La temperatura  $T_{start}$  está situada en el intervalo de temperatura deseado de  $T_{m\acute{i}n}$  a  $T_{m\acute{a}x}$ .

A partir del momento  $t_2$  se determina la temperatura de pala de rotor actual  $T_{actual}$  en correspondencia con el ejemplo de la figura 2. En el momento  $t_2$  se activa el dispositivo calefactor de pala de rotor 22 con el nivel de potencia más alto. En el momento  $t_3$  se alcanza la temperatura máxima  $T_{m\acute{a}x}$  y, por consiguiente, el dispositivo calefactor de pala de rotor 22 se desactiva hasta el momento  $t_4$ , en el que la temperatura actual determinada  $T_{actual}$  de la pala de rotor vuelve a quedar por debajo de la temperatura mínima  $T_{m\acute{i}n}$ . A continuación tienen lugar otras fases de calentamiento y enfriamiento.

Lista de signos de referencia usados

25	10	Planta de energía eólica
	12	Torre
	14	Góndola
	16	Rotor
30	18	Buje de rotor
	20	Pala de rotor
	22	Dispositivo calefactor de pala de rotor
	24	Control
	$T_{start}$	Valor de temperatura inicial
35	$\tau$	Constante de tiempo
	$n$	Velocidad de giro de rotor
	$T_U$	Temperatura ambiente
	$T_{m\acute{i}n}$	Temperatura mínima
	$T_{m\acute{a}x}$	Temperatura máxima
40	$\Delta T_{m\acute{a}x,1}$	Diferencia de temperatura máxima con nivel de potencia de 33 %
	$\Delta T_{m\acute{a}x,2}$	Diferencia de temperatura máxima con plena potencia
	$T_{actual}$	Temperatura de pala de rotor actual

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para el funcionamiento de una planta de energía eólica (10) con las siguientes etapas:
  - 5       • determinar una temperatura actual ( $T_{\text{actual}}$ ) de una pala de rotor (20),
  - activar y desactivar un dispositivo calefactor de pala de rotor (22) en dependencia de la temperatura actual determinada ( $T_{\text{actual}}$ ), **caracterizado por que** para determinar la temperatura actual ( $T_{\text{actual}}$ ) se realizan las siguientes etapas:
  - 10       • adoptar un valor de temperatura inicial ( $T_{\text{start}}$ ) y
  - calcular un cambio de temperatura teniendo en cuenta al menos un valor característico predefinido para el comportamiento de la temperatura de la pala de rotor (20) y al menos un parámetro operativo de la planta de energía eólica (10).
- 15       2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el dispositivo calefactor de pala de rotor (22) se activa si la temperatura actual determinada ( $T_{\text{actual}}$ ) es inferior a una temperatura mínima predefinida ( $T_{\text{min}}$ ).
- 20       3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** el dispositivo calefactor de pala de rotor (22) se desactiva si la temperatura actual determinada ( $T_{\text{actual}}$ ) supera una temperatura máxima predefinida ( $T_{\text{máx}}$ ).
- 25       4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** el al menos un valor característico predefinido incluye una constante de tiempo ( $\tau$ ) para el comportamiento del calentamiento y/o enfriamiento de la pala de rotor (20).
- 30       5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** el al menos un valor característico predefinido incluye una diferencia de temperatura máxima ( $\Delta T_{\text{máx},1}$ ,  $\Delta T_{\text{máx},2}$ ) que se puede obtener con el dispositivo calefactor de pala de rotor (22).
- 35       6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4 o 5, **caracterizado por que** la constante de tiempo ( $\tau$ ) y/o la diferencia de temperatura máxima ( $\Delta T_{\text{máx},1}$ ,  $\Delta T_{\text{máx},2}$ ) dependen de una velocidad del viento y/o de una velocidad de giro de rotor ( $n$ ).
- 40       7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** el al menos un parámetro operativo comprende una velocidad de giro de rotor ( $n$ ).
- 45       8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** el al menos un parámetro operativo comprende un estado del dispositivo calefactor de pala de rotor (22).
- 50       9. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por que** el valor de temperatura inicial adoptado ( $T_{\text{start}}$ ) corresponde a una temperatura ambiente medida ( $T_U$ ).
- 55       10. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado por que** el dispositivo calefactor de pala de rotor (22) se desactiva durante un período de tiempo predefinido en intervalos de tiempo predefinidos y la temperatura ambiente ( $T_U$ ) se adopta a continuación como valor de temperatura inicial ( $T_{\text{start}}$ ).
- 60       11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado por que** el dispositivo calefactor de pala de rotor (22) se activa durante un período de tiempo predefinido y a continuación se adopta como valor de temperatura inicial ( $T_{\text{start}}$ ) la temperatura ambiente ( $T_U$ ) más una diferencia de temperatura máxima ( $\Delta T_{\text{máx},1}$ ,  $\Delta T_{\text{máx},2}$ ) que se puede obtener con el dispositivo calefactor de pala de rotor (22).
- 65       12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado por que** el dispositivo calefactor de pala de rotor (22) se activa en varios niveles de potencia diferentes, dependiendo el al menos un valor característico para el comportamiento de la temperatura de la pala de rotor (20), que se ha tenido en cuenta durante el cálculo del cambio de temperatura, de un nivel de potencia activado.
13. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado por que** la temperatura actual ( $T_{\text{actual}}$ ) se determina para varios puntos predefinidos en la pala de rotor (20).
14. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado por que** durante la activación del dispositivo calefactor de pala de rotor (22) se evalúa aquel punto para el que se determinó la temperatura más baja y/o por que durante la desactivación del dispositivo calefactor de pala de rotor (22) se evalúa aquel punto para el que se determinó la temperatura más alta.
15. Planta de energía eólica (10) con un dispositivo calefactor de pala de rotor (22) y un control (24) que puede activar y desactivar el dispositivo calefactor de pala de rotor (22) en dependencia de una temperatura actual

determinada ( $T_{\text{actual}}$ ) de una pala de rotor (20), **caracterizada por que** el control (24) está configurado para realizar las siguientes etapas con el fin de determinar la temperatura actual ( $T_{\text{actual}}$ ):

- 5 • adoptar un valor de temperatura inicial ( $T_{\text{start}}$ ),
- calcular un cambio de temperatura teniendo en cuenta al menos un valor característico predefinido para el comportamiento de la temperatura de la pala de rotor (20) y al menos un parámetro operativo de la planta de energía eólica (10).

Fig. 1

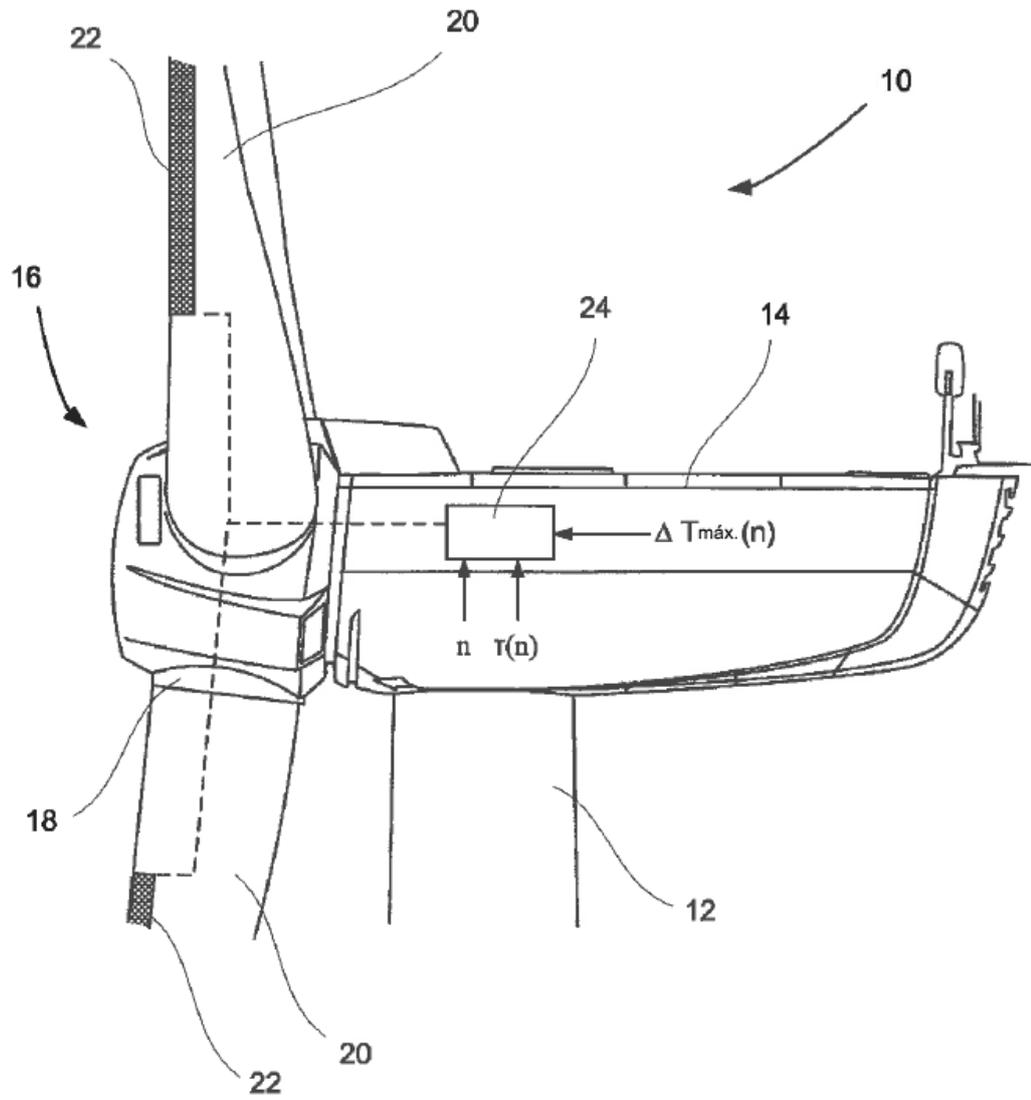


Fig. 2

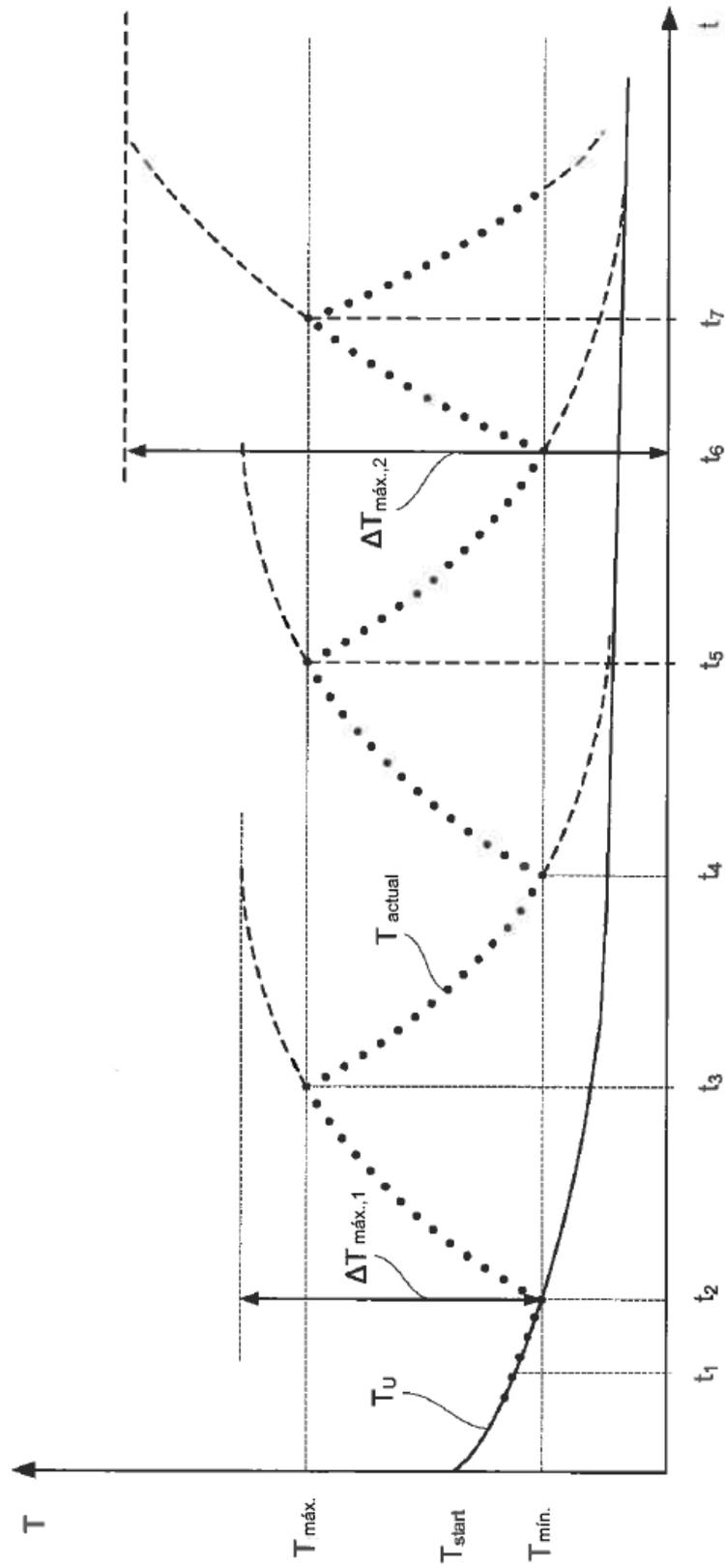


Fig. 3

