

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 664 186**

51 Int. Cl.:

F03D 80/40 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.05.2016 E 16167894 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.01.2018 EP 3096008**

54 Título: **Procedimiento y sistema para la descongelación de palas de rotor así como programa informático y aerogenerador**

30 Prioridad:

18.05.2015 DE 202015003529 U

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

18.04.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KRAMER, BERTIN y
RZEPKA, MAREK**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 664 186 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema para la descongelación de palas de rotor así como programa informático y aerogenerador

La invención se refiere a un procedimiento para la descongelación de una pala de rotor de un aerogenerador, en el que, en caso de acumulación de hielo en una zona de la pala de rotor, que se tiene que mantener libre de hielo o liberar del hielo, se inicia un proceso de descongelación, calentando una corriente de aire a una temperatura de avance predeterminada o predeterminable, que se conduce a continuación, desde una raíz de la pala de rotor, a través de un canal o de un sistema de canales en la pala de rotor, a la zona a mantener libre de hielo o a liberar del hielo, y a continuación, en todo o en parte, de vuelta a la raíz de la pala, registrándose la temperatura de avance y una temperatura de recirculación de la corriente de aire reconducida de forma continua o en intervalos. La invención se refiere además a un programa informático que activa una unidad de control de un aerogenerador para que ejecute un procedimiento correspondiente para la descongelación de una pala de rotor de un aerogenerador, a un sistema de descongelación de un aerogenerador así como a un aerogenerador.

Durante el funcionamiento de los aerogeneradores surge, en lugares fríos, el problema de que las palas de rotor se cubren de hielo, lo que dificulta la aerodinámica y, por consiguiente, el grado de rendimiento de las palas de rotor, conduce a problemas de carga no deseados y conlleva el riesgo de una caída de hielo. Por esta razón se han desarrollado sistemas por medio de los cuales las palas de rotor se pueden calentar, para prevenir una congelación.

El documento DE 10 2010 030 472 A1 revela una pala de rotor de un aerogenerador con un primer y un segundo canal desarrollado en el interior de la pala de rotor para la conducción de una corriente de aire a través de la misma. Se describe además un procedimiento para la descongelación de una pala de rotor de un aerogenerador. La pala de rotor según el documento DE 10 2010 030 472 A1 presenta un dispositivo de separación que separa los canales, de manera que el primer canal se disponga por un primer lado del dispositivo de separación hacia el lado de presión de la pala de rotor y el segundo canal por un segundo lado del dispositivo de separación hacia el lado de aspiración de la pala de rotor. El procedimiento descrito prevé que la velocidad de flujo de la corriente de aire prevista en el primer y en el segundo canal se predetermina, al menos en algunas secciones de la pala de rotor.

El documento WO2013107457 revela un procedimiento para la descongelación de una pala de rotor, en el que en caso de una acumulación de hielo en una zona de la pala de rotor, que se debe mantener libre de hielo o liberar del hielo, se inicia un procedimiento de descongelación.

Por el documento DE 10 2013 211 520 A1 se conocen una pala de rotor, un sistema de descongelación y un procedimiento para la descongelación de una pala de rotor de un aerogenerador, en el que una corriente de aire calentada se conduce, desde una raíz de la pala de rotor, en dirección a una punta de la pala, dentro de un canal termoaislado, que se dispone en un alma, delimitando el alma una primera zona de la pala de rotor, que comprende un saliente de la pala de rotor, frente a una segunda zona de la pala de rotor, que comprende un canto posterior de la pala de rotor, desviándose la corriente de aire calentada, al menos en parte, en su camino hacia la punta de la pala del canal para conducirlo en dirección al saliente de la pala de rotor, y reconduciéndose la corriente de aire desviada a continuación de vuelta a la raíz de la pala en un espacio hueco previsto entre el saliente de la pala de rotor y el alma así como el canal. De este modo se resuelve el problema fundamental de los sistemas de aire caliente, que consiste en que una parte significativa de la energía térmica se pierde en la zona cercana a la raíz de la pala, con lo que una descongelación en la zona exterior de la pala, especialmente en la zona de la punta de la pala, sólo es posible con un consumo de energía y caudales máxicos muy elevados. Al prever un canal termoaislado, el aire caliente se puede transportar muy lejos en dirección a la punta de la pala, sin grandes pérdidas de calor. Por otra parte, una disposición del canal termoaislado en el alma, especialmente en el alma orientada hacia el saliente de la pala de rotor, resulta beneficiosa para recorridos cortos de la corriente de aire desde el canal a la pared interior del saliente de la pala de rotor.

La presente invención, en cambio, tiene por objeto conseguir que la descongelación de las palas de rotor resulte más eficaz de lo que ha sido posible hasta ahora.

Esta tarea se resuelve por medio de un procedimiento para la descongelación de una pala de rotor de un aerogenerador, en el que, en caso de una acumulación de hielo en una zona de la pala de rotor, que se tiene que mantener libre de hielo o liberar del hielo, se inicia un proceso de descongelación, calentando una corriente de aire a una temperatura de avance predeterminada o predeterminable, que se conduce a continuación, desde una raíz de la pala de rotor, a través de un canal o de un sistema de canales en la pala de rotor, a la zona a mantener libre de hielo o a liberar del hielo, y a continuación, en todo o en parte, de vuelta a la raíz de la pala, registrándose la temperatura de avance y una temperatura de recirculación de la corriente de aire reconducida de forma continua o en intervalos, que se perfecciona evaluando durante el proceso de descongelación al menos una evolución temporal de al menos una señal de medición que contiene la temperatura de recirculación para la determinación de una señal de completamiento de la descongelación, provocada por un completamiento de la descongelación de una zona a mantener libre de hielo o a liberar del hielo.

La presente invención se basa en la idea principal de que, al contrario de lo que ha sido posible hasta ahora, el progreso del proceso de descongelación depende de lo que ocurre realmente durante la descongelación. Dado que la descongelación de las palas de rotor de un aerogenerador es relevante para la seguridad, debe completarse antes de que se pare la aportación de aire calentado a la zona a descongelar. Esto significa que se tiene que garantizar que la zona a descongelar esté completamente libre de hielo. Dado que hasta ahora no existen sensores externos

que pueden realizar esta observación de forma sencilla y fiable, el procedimiento habitual consiste en determinar la duración de la aportación de aire calentado hasta que se pueda garantizar una descongelación completa. La duración de descongelación ajustada es, por lo tanto, independiente de la duración que se necesita realmente, y que en cada caso individual puede variar en función de la temperatura exterior, de la humedad del aire y del grosor del hielo acumulado. La cantidad de aire caliente empleada es, por consiguiente, en muchos casos mucho mayor que la cantidad que se necesita realmente, por lo que el procedimiento usado hasta ahora no resulta eficaz. Cuando termina la descongelación o cuando al menos la temperatura de avance se reduce hasta llegar al final, se ahorran energía y tiempo y se consigue un proceso de descongelación más eficiente.

Normalmente en los sistemas de descongelación del sector de energía eólica sólo se registra y controla la temperatura de avance para garantizar que el avance se mantenga por debajo de la gama de temperaturas críticas para el material de la pala de rotor.

Sin embargo, un registro de la temperatura de recirculación, es decir, de la temperatura de la corriente de aire reconducida desde la pala de rotor, antes de aportarla de nuevo al sistema de calentamiento, es posible sin gran esfuerzo, precisamente la temperatura de recirculación contiene una información aprovechable sobre el proceso de descongelación, dado que depende de la cantidad de calor extraída realmente de la corriente de aire calentada. Para ser eficaz, el canal de aire o el sistema de canales se desarrolla en la zona a descongelar sin aislamiento propio y, en comparación, justo por debajo de la superficie de la pala. El calor o la energía térmica que sale de la corriente de aire calentada atraviesa la capa de material de la pala de rotor situada entre el canal de aire y la superficie de la pala como corriente de calor y es absorbida por el hielo adherido a la superficie de la pala. La intensidad de la corriente de calor depende sobre todo, dejando a un lado la capacidad de conducción térmica y la disposición local del material de pala de rotor situado entremedias, de la diferencia de temperatura entre la corriente de aire, por una parte, y la superficie de la pala, por otra parte.

Tan pronto una capa límite del hielo empieza a pasar en la superficie de la pala de la fase sólida a la fase líquida, la temperatura de la superficie de la pala es de 0 (cero) °C. Esta temperatura de la superficie es constante mientras la zona a descongelar está cubierta de hielo en una gran superficie, sobre todo teniendo en cuenta que el hielo es un buen aislante térmico.

Del grosor del hielo acumulado depende si se caen trozos de hielo más grandes de la pala de rotor o si se funden "gotas de hielo" más pequeñas. Los primeros no se descongelan del todo, sino que basta con que su capa cercana a la superficie de la pala de rotor se vuelva líquida, de manera que se resbale y caiga al suelo. Las gotas de hielo más pequeñas, que de por sí ya suponen un riesgo menor para el funcionamiento del aerogenerador, ya se funden durante la aportación de calor correspondiente.

Con la liberación de la superficie de la pala de rotor del hielo adherido permanece, en principio, todavía una fina capa de líquido que el calor que sale de la pala de rotor volatiliza rápidamente, por lo que la temperatura reinante en la superficie corresponde en poco tiempo a la temperatura del aire del entorno. Ésta presentará en muchos casos valores de varios grados por debajo de 0 °C, con lo que la diferencia entre la temperatura de la corriente de aire calentada, por una parte, y la temperatura en la superficie de la pala de rotor, aumenta. En el caso ideal de un equilibrio térmico alcanzado en la pala de rotor y la corriente de aire de descongelación, la corriente de calor a través del material de la pala de rotor aumenta por este motivo, y la temperatura de recirculación desciende a causa del aumento de la cantidad de calor extraída. La evolución de la temperatura de recirculación de la corriente de aire es, por consiguiente, un buen indicador del completamiento de la descongelación.

Preferiblemente, el proceso de descongelación se da por terminado después de la detección de una signatura de completamiento de la descongelación. Esta medida acorta el proceso de descongelación y permite ahorrar energía. Como consecuencia de la reducción del proceso de descongelación el aerogenerador se puede volver a poner en marcha antes que hasta ahora después de una descongelación, con lo que se puede producir más corriente eléctrica. Alternativamente la corriente de aire se puede seguir aplicando durante un tiempo adicional predeterminado o predeterminable, en su caso a una temperatura de avance reducida. De este modo se proporciona también en el procedimiento de descongelación según la invención una reserva de seguridad para la descongelación completa.

Durante el funcionamiento del aerogenerador se pueden superponer varios efectos que modifican la señal de temperatura. Es posible que aún no se haya conseguido un equilibrio térmico en el material de la pala de rotor en la zona a descongelar, antes de terminar la descongelación. En este caso puede ocurrir que la caída del hielo se produzca en un momento relativamente temprano, en el que el material de la pala de rotor aún se está calentando. Esta fase va acompañada por un aumento inicialmente fuerte y después más lento de la temperatura de recirculación. La signatura de completamiento de la descongelación no consiste, en un caso como este, necesariamente en la reducción de la propia temperatura de recirculación, como se ha descrito antes para el caso ideal, sino en una reducción más fuerte del aumento de la temperatura de recirculación.

En esta situación una señal de medición que contiene la temperatura de recirculación consiste ventajosamente en la propia temperatura de recirculación, en la temperatura de diferencia entre la temperatura de avance y la temperatura de recirculación o en una primera o una segunda derivación de la temperatura de recirculación o de la temperatura de diferencia entre la temperatura de avance y la temperatura de recirculación. En el marco de la presente invención se pueden emplear ventajosamente varias de estas señales de medición creadas a partir de la temperatura de

recirculación y, en su caso, adicionalmente a partir de la temperatura de avance de la corriente de aire calentada. De esta forma es posible lograr, en base a una mayor redundancia de la evaluación, por una parte, una mayor seguridad de la detección de signaturas de completamiento de descongelación y detectar, por otra parte, incluso signaturas de completamiento de descongelación más débiles.

5 La signatura de completamiento de descongelación corresponde también ventajosamente al hecho de rebasar o no alcanzar un valor umbral o a una breve variación de la primera y/o de la segunda derivación temporal de la temperatura de recirculación, en comparación con la inercia de la variación de la señal de temperatura que contiene la temperatura de recirculación, o de la diferencia de temperatura entre la temperatura de avance y la temperatura de recirculación. En el marco de la presente invención también se pueden utilizar varias de estas signaturas de
10 completamiento de descongelación. Se comprobará, por ejemplo, una reducción más fuerte del aumento de la temperatura de recirculación debido a la caída de hielo en la primera y/o segunda derivación temporal de la temperatura de recirculación. La diferencia entre la temperatura de avance y la temperatura de recirculación elimina además los efectos que se producen fundamentalmente en la fase inicial durante el calentamiento de la corriente de aire hasta alcanzar la temperatura de avance predeterminada, y que se pueden producir, por otra parte, en caso de
15 oscilaciones de la temperatura de avance durante el posterior proceso de descongelación, y que podrían simular una signatura de completamiento de la descongelación. Conociendo los procesos típicos de descongelación y las evoluciones de las temperaturas de recirculación basta en muchos casos con valores límite o umbrales, que en caso de ser superados o no alcanzados sirven de signatura de completamiento de descongelación.

20 Otra medida ventajosa consiste en que la detección de signaturas de completamiento de descongelación no se ponga en marcha hasta después de haber alcanzado la temperatura de avance predeterminada o predeterminable.

Preferiblemente, en una determinación de los valores umbrales o de otros indicadores para una signatura de completamiento de descongelación se tienen en cuenta los factores ambientales, especialmente la temperatura exterior, la humedad del aire, la velocidad del viento y/o la radiación solar. Una radiación solar, por ejemplo, calentará la superficie de la pala de rotor, lo que dará lugar a una reducción del flujo de calor a través de la pala de
25 rotor. En una pala de rotor seca, la temperatura exterior es directamente responsable de la diferencia de temperatura entre la superficie de la pala de rotor y la corriente de aire, en el caso de una pala de rotor húmeda es indirectamente responsable. La humedad del aire y la velocidad del viento también influyen en la velocidad a la que la pala de rotor se seca después de ser liberada del hielo y, por lo tanto, en la "intensidad" temporal o certeza de la signatura de completamiento de descongelación.

30 La radiación solar se puede calcular, de por sí, por ejemplo a partir de imágenes de las cámaras exteriores existentes, cuya luminosidad de imagen y cuyos parámetros de regulación como abertura de diafragma, factor de amplificación, etc. se conocen. A partir de la posición conocida del aerogenerador así como de la posición del sol en el cielo conocida por la fecha y la hora, se puede calcular además la intensidad de la irradiación.

35 Alternativamente se puede evaluar también la señal de los sensores de intensidad de luz dispuestos en el aerogenerador o en el parque eólico. Estos sensores ya son ampliamente conocidos en el estado de la técnica, especialmente para su empleo en sistemas de control para evitar la proyección de sombras en los aerogeneradores.

Igualmente resulta ventajoso que en una prueba de descongelación o en varias apuebas de descongelación con y/o sin acumulación de hielo en la pala de rotor se registren una o varias curvas temporales típicas de una o varias señales de medición que contengan la temperatura de recirculación y/o que se empleen para la generación de un
40 modelo de referencia, en el que se parametricen especialmente también los factores ambientales y se empleen la o las curvas típicas y/o el modelo de referencia en los procesos de descongelación posteriores como referencia de comparación para la determinación de las signaturas de completamiento de descongelación. Para que los datos de prueba sean lo más neutrales posible, es posible registrarlos, por ejemplo, durante la noche, de manera que no se produzca ninguna radiación solar y que la temperatura sólo dependa de la temperatura del aire. Los factores como la radiación solar se tienen en cuenta por separado mediante el escalado o desplazamiento de los datos comparativos o datos de medición. Estas adaptaciones son la consecuencia de consideraciones físicas o se pueden completar por
45 medio de series de pruebas realizadas durante el día o en distintas condiciones.

Con preferencia se determina o se puede determinar previamente una duración de descongelación mínima, que establezca la duración mínima del proceso de descongelación para el caso de que, antes de transcurrir la duración de descongelación mínima, ya se detecte una signatura de completamiento de descongelación. Alternativa o
50 adicionalmente se predetermina o se puede predeterminar ventajosamente una duración de descongelación máxima, tras la cual el proceso de descongelación se da por terminado, incluso sin producirse una signatura de completamiento de descongelación.

El procedimiento según la invención experimenta una mejora y ampliación ventajosas si se prevé un circuito de corriente de aire cerrado y si la potencia calorífica para alcanzar la temperatura de avance se controla adicionalmente. Dado que la potencia calorífica necesaria depende de la temperatura de la corriente de recirculación, se obtiene por lo tanto una segunda medición independiente, que en su caso proporciona también en caso de fallo del sensor de temperatura resultados de medición todavía aprovechables para la temperatura de recirculación.

60 El análisis de las curvas de temperatura se realiza preferiblemente teniendo en cuenta tolerancias apropiadas para las precisiones de medición y variaciones de la medición de la temperatura, para que el proceso de descongelación

- no se pare antes de tiempo debido a signaturas de completamiento de descongelación erróneas. Los espacios de tiempo entre las sucesivas mediciones de temperatura son preferiblemente menores que la longitud de las signaturas de completamiento de descongelación conocidas o utilizadas, de manera que estas últimas no caigan por la trama de medición. La frecuencia de medición corresponde preferiblemente a una edición por minuto o más, especialmente a una medición por 10 segundos o más.
- La tarea, en la que se basa la invención, también se resuelve por medio de un sistema de descongelación de un aerogenerador con al menos una pala de rotor, que presenta un canal o un sistema de canales para la conducción de una corriente de aire calentada, un dispositivo calefactor para la generación de una corriente de aire calentada, al menos un sensor de temperatura en el avance de la corriente de aire calentada y un sensor de temperatura en el canal de recirculación de la corriente de aire calentada, que comprende además un sistema de control que se configura para el control del dispositivo calefactor y que se conecta a los sensores de temperatura en el avance y la recirculación de la corriente de aire calentada y que se configura y diseña para ejecutar un procedimiento según la invención antes descrito. Un sistema de control como éste se diseña normalmente como ordenador para el procesamiento de datos que, por medio de un software de control, sirve para la ejecución del procedimiento según la invención. En este caso se puede tratar de una parte del sistema de control central de un aerogenerador.
- La tarea, en la que se basa la invención, se resuelve además por medio de un programa informático que activa un dispositivo de control de un aerogenerador para que ejecute un procedimiento según la invención antes descrito para la descongelación de una pala de rotor de un aerogenerador. Este programa informático según la invención es el software de control antes mencionado.
- La tarea, en la que se basa la invención, se resuelve además por medio de un aerogenerador con un sistema de descongelación según la invención.
- Las características, ventajas y propiedades descritas en relación con el procedimiento según la invención también se ponen en práctica en el sistema de descongelación según la invención y en el aerogenerador según la invención.
- Otras características de la invención se pueden ver en la descripción de formas de realización según la invención, junto con las reivindicaciones y los dibujos que se acompañan. Las formas de realización según la invención pueden corresponder a algunas de las características o a una combinación de varias características.
- La invención se describe a continuación sin limitación de la idea inventiva general a la vista de unos ejemplos de realización y con referencia a los dibujos, señalándose en relación con todos los detalles según la invención no explicados específicamente en el texto expresamente los dibujos. Éstos muestran en la:
- Figura 1 una serie de mediciones de las temperaturas de avance y de recirculación así como una variación temporal de la temperatura de recirculación para un típico proceso de descongelación;
- Figura 2 una representación esquemática de un proceso con una signatura de completamiento de descongelación y
- Figura 3 una representación esquemática de otro proceso con una signatura de completamiento de descongelación.
- En los dibujos, los elementos y/o las piezas respectivamente iguales o similares están provistos de las mismas referencias, de manera que se prescinde respectivamente de una nueva presentación.
- La figura 1 muestra una serie de mediciones de la temperatura de avance 10 y de la temperatura de recirculación 20, así como una variación temporal 30 de la temperatura de recirculación 20 para un típico proceso de descongelación de una pala de rotor congelada de un aerogenerador. Otros sistemas de descongelación, palas de rotor y sistemas de canales de aire caliente correspondientes se describen, por ejemplo, en los documentos DE 10 2010 030 472 A1 o DE 10 2013 211 520 A1. La escala de tiempo en el eje horizontal es de diez (10) minutos por cada división. Los valores de medición ponderados a lo largo de los respectivos diez minutos también se indican en intervalos de diez minutos. La curva superior muestra la evolución de la temperatura de avance 10 que, después de la puesta en marcha del proceso de descongelación, alcanza a unos treinta (30) minutos su temperatura de avance predeterminada de aprox. 65 °C y que después se mantiene durante unos cincuenta (50) minutos constante hasta el final del proceso de descongelación.
- La curva central muestra la temperatura de recirculación 20, que al principio aumenta fuertemente con la temperatura de avance 10, y que después de alcanzarse la máxima temperatura de avance 10 va disminuyendo. Sin embargo, sigue subiendo durante todo el proceso de descongelación. La curva inferior con la referencia 30 representa la diferencia de los sucesivos valores de medición de la temperatura de recirculación 20, o sea, una medida para la primera derivación temporal 30 de la curva temporal de la temperatura de recirculación 20. Una vez alcanzado un máximo justo antes de alcanzarse la máxima temperatura de avance 10, baja en el transcurso de la descongelación a pocos grados por 10 minutos. Un control óptico al final del proceso de descongelación confirma la descongelación completa de la punta de la pala de rotor.
- En este proceso ya se puede emplear como criterio de completamiento de descongelación 50 un valor umbral 48 determinado a partir de valores de experiencia, por ejemplo el hecho de rebasar el valor de 30 °C de la temperatura de recirculación 20, el hecho de no alcanzar una diferencia de 35 °C entre la temperatura de avance 10 y la temperatura de recirculación 20 o un valor umbral 48 de 1 °C por 10 minutos en la diferencia temporal de valores sucesivos, es decir, de la primera derivación temporal 30, de la temperatura de recirculación 20.

La figura 2 representa una sección de un típico proceso de descongelación en el que la temperatura de avance 10 ya ha alcanzado su valor máximo. La unidad del eje de tiempo horizontal es discrecional. La temperatura de recirculación 20 sube en este sistema al principio de manera en comparación fuerte, dado que una zona a descongelar de la pala de rotor todavía está ocupada por el hielo que retiene el calor. Después de la eliminación de la capa de hielo la subida de la temperatura de recirculación 20 se reduce, dado que el calor se puede transmitir ahora sin obstáculos al entorno más frío, por lo que se produce un mayor flujo de calor a través del material de la pala de rotor. Por motivos de una mayor claridad, la temperatura de recirculación 20 más alta frente al ejemplo de la figura 1, no se representa, por lo que ha de entenderse simplemente a modo de ejemplo. El punto en el que la subida más fuerte de la temperatura de recirculación 20 se transforma en una subida más plana, se identifica como 5
10
15
20
25
30
35
40
45
50

signatura de completamiento de descongelación 51.
En la parte inferior de la figura 2 se indican la primera derivación 30 y la segunda derivación 40 de la temperatura de recirculación 20. Las mismas tienen respectivamente las unidades $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ o $^{\circ}\text{C}/\text{min}^2$, como se muestra en el eje vertical ilustrado a la derecha. Las unidades son arbitrarias, se identifica únicamente una línea cero. La primera derivación 30 de la temperatura de recirculación 20 es en su totalidad positiva, sin embargo, en el momento del completamiento de la descongelación disminuye, por lo que se produce una signatura de completamiento de descongelación 52.

La segunda derivación 40 es en este ejemplo de realización constantemente igual a cero (0), sólo en el momento del completamiento de la descongelación se convierte claramente en negativa de acuerdo con la disminución del valor de la primera derivación 30. Como consecuencia se produce otra signatura de completamiento de descongelación 53 más.

Para el análisis representado en la figura 2 se necesita una medición más estrecha de las temperaturas de avance y recirculación que la que se muestra en la figura 1. A pesar de que el sistema de descongelación de un aerogenerador es un sistema lento, las variaciones en cuanto al tiempo se pueden ver en pocos minutos. Para poder registrarlas conviene un índice de repetición de mediciones de medio minuto o más, por ejemplo una medición por cada medio minuto o por diez segundos. Los intervalos de medición tienen que ser más cortos que la duración de una signatura de completamiento de descongelación 50, 51, 52 ó 53.

En la figura 3 se representa otro ejemplo de realización en el que la temperatura de avance 10 también ha alcanzado ya de forma constante su valor máximo. Al contrario que en el ejemplo de realización según la figura 2, la temperatura de recirculación 20 baja en la figura 3 después del completamiento de la descongelación. El paso del flanco ascendente al flanco descendente de la curva de la temperatura de recirculación 20 forma una signatura de completamiento de descongelación 54. La primera derivación 30 cambia en este caso de positivo a negativo. El paso por cero puede servir en este caso como signatura de completamiento de descongelación 55. Dado que la subida de la temperatura de recirculación 20 en la primera mitad del período de medición representado no es constante, sino que disminuye, la segunda derivación 40 es al principio negativa, para subir después a cero (0). El mínimo o la curva negativa de la segunda derivación 40 forma una signatura de completamiento de descongelación 56.

Todas las características mencionadas, también las que se deducen por sí solas de los dibujos, así como las distintas características reveladas en combinación con otras características, se consideran esenciales para la invención, tanto por sí solas como en combinación. Las formas de realización según la invención pueden contener algunas de las características o una combinación de varias características. En el marco de la invención, las características identificadas con "especialmente" o "preferiblemente", han de entenderse como características facultativas.

Lista de referencias

- 10 Temperatura de avance
- 45 20 Temperatura de recirculación
- 30 Variación temporal de la temperatura de recirculación
(primera derivación temporal)
- 40 segunda derivación temporal de la temperatura de recirculación
- 48 Valor umbral
- 50 50 – 56 Signatura de completamiento de descongelación

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la descongelación de una pala de rotor de un aerogenerador, en el que, en caso de acumulación de hielo en una zona de la pala de rotor, que se tiene que mantener libre de hielo o liberar del hielo, se inicia un proceso de descongelación, calentando una corriente de aire a una temperatura de avance (10) predeterminada o predeterminable, que se conduce a continuación, desde una raíz de la pala de rotor, a través de un canal o de un sistema de canales en la pala de rotor, a la zona a mantener libre de hielo o a liberar del hielo, y a continuación, en todo o en parte, de vuelta a la raíz de la pala, registrándose la temperatura de avance (10) y una temperatura de recirculación (20) de la corriente de aire reconducida de forma continua o en intervalos, caracterizado por que durante el proceso de descongelación se evalúa al menos una evolución temporal de al menos una señal de medición que contiene la temperatura de recirculación (20) para la determinación de una signatura de completamiento de la descongelación (50 – 56), provocada por un completamiento de la descongelación de una zona a mantener libre de hielo o a liberar del hielo.
- 15 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el proceso de descongelación se da por terminado después de la detección de una signatura de completamiento de descongelación (50 – 56) o por que la corriente de aire calentada se sigue aplicando durante un tiempo adicional predeterminado o predeterminable, especialmente a una temperatura de avance (10) reducida.
- 20 3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado por que al menos una señal de medición que contiene la temperatura de recirculación (20) consiste en la propia temperatura de recirculación (20), en una temperatura de diferencia entre la temperatura de avance (10) y la temperatura de recirculación (20) o en una primera (30) o en una segunda derivación temporal (40) de la temperatura de recirculación (20) o de la temperatura de diferencia entre la temperatura de avance (10) y la temperatura de recirculación (20).
- 25 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que la signatura de completamiento de congelación (50 – 56) consiste en el hecho de rebasar o de no alcanzar un valor umbral (48) o en una breve variación, en comparación con la lentitud de la variación de la señal de temperatura que contiene la temperatura de recirculación (20), de la primera (30) y/o de la segunda derivación temporal (40) de la temperatura de recirculación (20) o de la diferencia de temperatura entre la temperatura de avance (10) y la temperatura de recirculación (20).
- 30 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la detección de signaturas de completamiento de congelación (50 – 56) sólo se inicia después de alcanzar la temperatura de avance (10) predeterminada o predeterminable.
- 35 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que se consideran factores ambientales, especialmente la temperatura exterior, la humedad del aire, la velocidad del viento y/o la radiación solar, para una determinación de valores umbrales (48) o de otros indicadores de una signatura de completamiento de descongelación (50 – 56).
- 40 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que en una prueba de descongelación o en varias pruebas de descongelación con o sin acumulación de hielo en la pala de rotor se registran y/o se emplean una o varias curvas temporales típicas de una o varias señales de medición que contienen la temperatura de recirculación (20) para la creación de un modelo de referencia, en el que se parametrizan especialmente también unos factores ambientales, empleándose la o las curvas típicas y/o el modelo de referencia en los procesos de descongelación posteriores como referencia de comparación para la determinación de signaturas de completamiento de descongelación (50 – 56).
- 45 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que se predetermina o se puede predeterminar una duración de descongelación mínima que predetermina una duración mínima del proceso de descongelación para el caso de que se detecte una signatura de completamiento de descongelación (50 – 56) antes de finalizar la duración de descongelación mínima.
- 50 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que se predetermina o se puede predeterminar una duración de descongelación máxima después de la cual se da por terminado el proceso de descongelación, incluso en el caso de que no se haya detectado ninguna signatura de completamiento de descongelación (50 – 56).
- 55 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que se prevé un circuito de corriente de aire cerrado y por que la potencia calorífica para alcanzar la temperatura de avance (10) se controla adicionalmente.
- 60 11. Sistema de descongelación de un aerogenerador con al menos una pala de rotor, que presenta un canal o un sistema de canales para la conducción de una corriente de aire calentada, un dispositivo calefactor para la generación de una corriente de aire calentada, al menos un sensor de temperatura en el canal de avance de la corriente de aire calentada y un sensor de temperatura en el canal de recirculación de la corriente de aire calentada,
- 65

y que comprende además un dispositivo de control configurado para el control del dispositivo calefactor y unido a los sensores de temperatura en los canales de avance y de recirculación de la corriente de aire calentada, que se configura y diseña para ejecutar un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10.

5 12. Programa informático que activa un dispositivo de control de un aerogenerador para que ejecute un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10 para la descongelación de una pala de rotor de un aerogenerador.

13. Aerogenerador con un sistema de descongelación según la reivindicación 11.

10

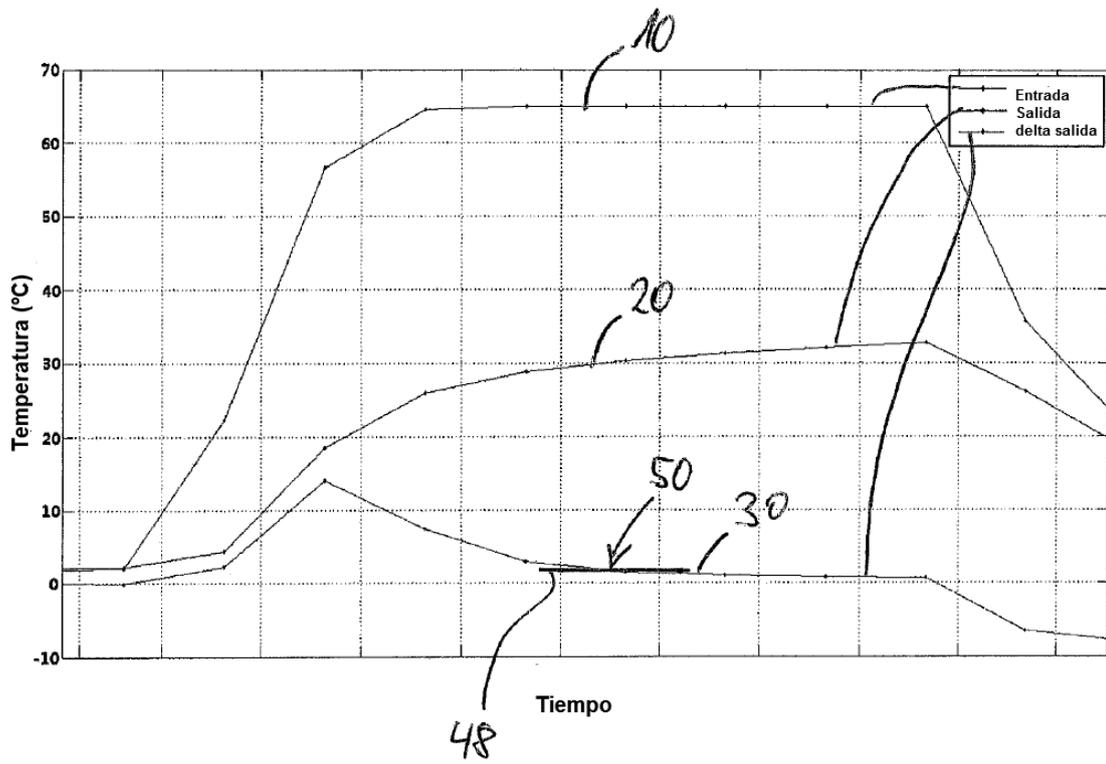


Fig. 1

Fig. 2

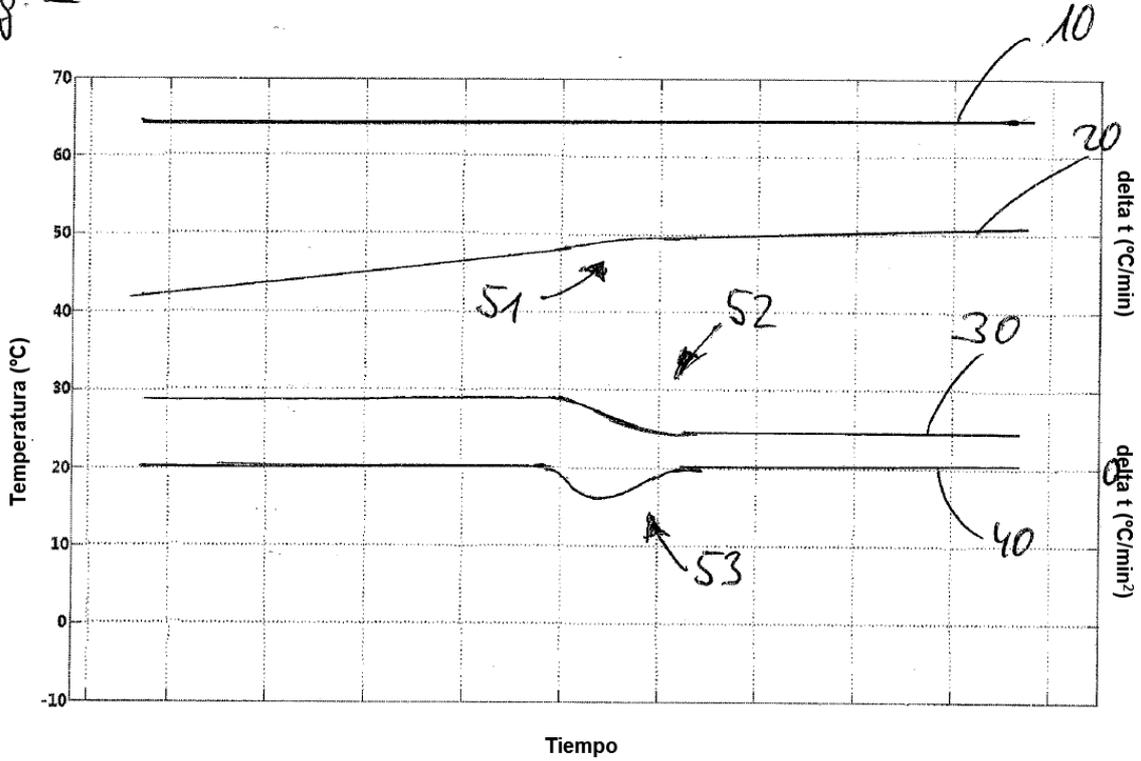


Fig. 3

