

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 013 327**

51 Int. Cl.:

**F03D 17/00** (2006.01)

**F03D 80/30** (2006.01)

**F03D 80/40** (2006.01)

**F03D 80/50** (2006.01)

**B64D 15/12** (2006.01)

**B64D 45/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.08.2021** **E 21191506 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2024** **EP 4137696**

54 Título: **Sistema que comprende una estructura propensa a la caída de rayos y a la formación de hielo, procedimiento para operar el sistema y una turbina eólica que comprende el sistema**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**11.04.2025**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA  
S.L. (100.00%)  
C/ Roc Boronat, 78  
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**DHARMADHIKARI, PARAG RAMESHCHANDRA;  
KLÜMPER, STEPHAN;  
MIRANDA, VICTOR y  
BARTON, WERNER GERHARD**

74 Agente/Representante:

**DE ROOIJ, Mathieu Julien**

**ES 3 013 327 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

Sistema que comprende una estructura propensa a la caída de rayos y a la formación de hielo, procedimiento para operar el sistema y una turbina eólica que comprende el sistema

5

**Campo**

[0001] La presente materia objeto se refiere, en general, a un sistema que comprende una estructura propensa a la caída de rayos y la formación de hielo. Más específicamente, la materia objeto se refiere a palas de rotor para turbinas eólicas en las que se deben proporcionar medidas para contrarrestar la generación de hielo en las superficies del sistema o de una pala de rotor, en particular cuando se opera en regiones bajo cero, al tiempo que se garantiza una protección específica contra los daños causados por la caída de rayos.

10

**Antecedentes**

15

[0002] La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medioambiente disponibles actualmente, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna incluye típicamente una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas de rotor captan la energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos y transmiten la energía cinética a través de energía de rotación para hacer girar un eje que acopla las palas de rotor a una caja de engranajes o, si no se usa una caja de engranajes, directamente al generador. A continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica que se puede distribuir en una red de suministro.

20

[0003] La formación de una capa de hielo sobre la superficie de una pala de rotor influye negativamente en el rendimiento de la respectiva turbina eólica, de modo que se reduce la producción total de energía. Además, la presencia de hielo en una pala de rotor rotatoria también puede provocar cargas adicionales y/o desequilibrio rotacional, lo que posteriormente puede requerir una reducción de la generación de potencia y/o puede dar como resultado la reducción de la vida útil de la turbina eólica.

25

30

[0004] En el pasado, se implementaron varias soluciones posibles para evitar la generación de hielo en las superficies de las palas de rotor. Por ejemplo, las turbinas eólicas estaban equipadas con disposiciones de soplado de aire caliente que producían una corriente de aire caliente que se dirigía hacia un volumen interior de las palas de rotor. Esto daba lugar a un calentamiento general de la pala de rotor respectiva, lo que hacía que el hielo presente en la superficie exterior de la pala de rotor se derritiera y, posteriormente, se cayera de la pala de rotor. Como alternativa, al revestimiento de las palas de rotor se le aplicaron disposiciones de calentamiento eléctrico que incluían esteras de calentamiento de carbono. Esto último puede suponer un mayor esfuerzo durante la fabricación, en particular porque su funcionalidad depende específicamente de altos estándares de calidad de fabricación y de la calidad de los materiales usados. El documento WO 2021/023350 A1 se refiere a una pala de turbina eólica con un elemento de calentamiento electrotérmico y a un procedimiento para inspeccionar una pala de turbina eólica de este tipo.

35

40

[0005] Una pala de rotor de una turbina eólica o una estructura general propensa a la formación de hielo también se pueden ver afectadas negativamente por la caída de rayos. Específicamente, la funcionalidad de una disposición de calentamiento eléctrico en la estructura o en la pala de rotor se puede ver interrumpida por las consecuencias eléctricas de la caída de un rayo.

45

[0006] En consecuencia, la presente divulgación está dirigida a una estructura propensa a la caída de rayos y a la formación de hielo, específicamente a una pala de rotor de una turbina eólica, que tiene características operativas y de fabricación mejoradas. Además, la presente divulgación está dirigida a un procedimiento para operar un sistema de este tipo y a una turbina eólica que tiene una pala de rotor de este tipo.

50

**Breve descripción**

[0007] Los aspectos y ventajas de la invención se expondrán, en parte, en la siguiente descripción, o pueden resultar evidentes a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la puesta en práctica de la invención.

55

[0008] En un aspecto, la presente divulgación está dirigida a un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende, en particular, una estructura que es propensa a la caída de rayos y a la formación de hielo, en el que la estructura comprende una disposición de blindaje ("*shielding arrangement*") conectada eléctricamente a una disposición de protección contra rayos, una disposición de calentamiento eléctrico conectada a una fuente de alimentación para mitigar la formación de hielo de la estructura, y una disposición de aislamiento eléctrico que se proporciona efectivamente entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico.

60

[0009] La fuente de alimentación está configurada para aplicar una cantidad predeterminada de energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento, de modo que la energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento esté presente

65

efectivamente entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico. Por ejemplo, la energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento se proporciona a la disposición de blindaje y a la disposición de calentamiento eléctrico de modo que, como consecuencia, se aplica efectivamente una tensión de blindaje-calentamiento entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico. Además, si el sistema está en condiciones adecuadas, como consecuencia del suministro de la energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento, una corriente de blindaje-calentamiento fluye entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico, o viceversa. Por tanto, la tensión de blindaje-calentamiento y la corriente de blindaje-calentamiento son causadas por el suministro de la energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento predeterminada.

**[0010]** De acuerdo con un detalle opcional del aspecto, el término "energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento" puede reflejar o refleja una cantidad y/o calidad específica y distinguible de energía eléctrica para examinar y garantizar la funcionalidad del sistema. En particular, la energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento se distingue de una energía operativa eléctrica para la operación de la disposición de calentamiento eléctrico. Por ejemplo, la energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento es diferente de la energía operativa eléctrica en términos de tensión y/o corriente eléctrica.

**[0011]** Un dispositivo de determinación se puede conectar eléctricamente a la disposición de blindaje y a la disposición de calentamiento eléctrico de manera que se pueda determinar la tensión de blindaje-calentamiento y/o la corriente de blindaje-calentamiento presentes entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico. De acuerdo con un modo de realización, el dispositivo de determinación puede ser un dispositivo de medición que tiene sensores específicos, que se puede realizar como un componente específico que puede estar integrado en la fuente de alimentación y/o en el controlador de la turbina eólica.

**[0012]** Se puede observar que el término "corriente de blindaje-calentamiento presente entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico" se refiere al hecho de que la corriente de blindaje-calentamiento fluye entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico, lo que describe, por tanto, un momento instantáneo de una medición específica de corriente. Además, cabe señalar que el término "se puede determinar" incluye mediciones directas o determinaciones indirectas mediante el análisis de otros valores de "medición" disponibles.

**[0013]** El sistema descrito permite las siguientes funcionalidades, en particular si la fuente de alimentación se controla en consecuencia: De acuerdo con un primer modo de realización operativo, la tensión de blindaje-calentamiento se aplica entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico, al tiempo que la corriente de blindaje-calentamiento está limitada a al menos un umbral de corriente de blindaje-calentamiento; este primer modo de realización operativo representa un ciclo de prueba de la funcionalidad de protección de la disposición de blindaje, en el que se puede determinar un nivel de protección (una funcionalidad de protección) de la disposición de calentamiento eléctrico contra sobretensiones o picos de tensión. Por ejemplo, manteniendo la corriente de blindaje-calentamiento dentro de sus límites y por debajo del umbral de corriente de blindaje-calentamiento, se debe establecer una tensión máxima específica de blindaje-calentamiento (por ejemplo, 5 kV) entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico. De este modo se garantiza que hasta el umbral de tensión de blindaje-calentamiento se asegure una separación eléctrica (por ejemplo, un aislamiento) entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico. Por lo tanto, si el sistema es alcanzado por un rayo, se puede evitar que se produzcan daños en la disposición de calentamiento eléctrico gracias a la protección eléctrica proporcionada por la disposición de blindaje a la disposición de calentamiento eléctrico. Dicha funcionalidad está garantizada siempre que la tensión inducida en la disposición de blindaje por el rayo no supere el umbral de tensión de blindaje-calentamiento.

**[0014]** De acuerdo con un segundo modo de realización operativo, se puede establecer una cantidad y/o un tipo predeterminados de la corriente de blindaje-calentamiento (flujo eléctrico) entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico. Este segundo modo de realización operativo representa un ciclo de reparación del sistema con el fin de proporcionar una funcionalidad de aislamiento entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico de modo que la funcionalidad de aislamiento sea eficaz hasta el umbral de tensión de blindaje-calentamiento.

**[0015]** Realizando el ciclo de prueba (primer modo de realización operativo) se puede determinar si la disposición de blindaje no está suficientemente aislada con respecto a la disposición de calentamiento eléctrico. Por ejemplo, un aislamiento insuficiente puede ser causado por una conductividad ya presente entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico o se puede formar por una tensión de blindaje-calentamiento aplicada (ruptura de tensión). El ciclo de prueba puede comprender la aplicación de una tensión de blindaje-calentamiento específica entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico, en el que la tensión de blindaje-calentamiento se incrementa hasta un umbral de tensión de blindaje-calentamiento predeterminado. Si no se puede establecer una tensión de blindaje-calentamiento hasta un umbral de tensión de blindaje-calentamiento entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico al tiempo que se mantiene la corriente de blindaje-calentamiento por debajo del umbral de corriente de blindaje-calentamiento, se determina que la

funcionalidad de aislamiento entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico es insuficiente.

5 **[0016]** Si se determina una funcionalidad de aislamiento insuficiente, se puede aplicar el ciclo de reparación (segundo modo de realización operativo): se establece una cantidad y/o un tipo predeterminados de la corriente de blindaje-calentamiento entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico. Dicho establecimiento de la corriente de blindaje-calentamiento es posible debido a la insuficiente funcionalidad de aislamiento. La cantidad y/o el tipo de la corriente de blindaje-calentamiento se elige de modo que la conductividad entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico se vuelva ineficaz debido a, por ejemplo, una sobrecarga y, por lo tanto, se sobrecaliente una ruta eléctrica de la conductividad. Posiblemente, la cantidad y/o el tipo predeterminados de la corriente de blindaje-calentamiento se elige de acuerdo con la cantidad de conductividad detectada.

15 **[0017]** Los primer y segundo modos de realización operativos se pueden establecer mediante el sistema proporcionado controlando la fuente de alimentación y/o el dispositivo de determinación en consecuencia.

20 **[0018]** De acuerdo con un modo de realización, el sistema comprende además un controlador configurado para controlar la fuente de alimentación y/o el dispositivo de determinación de modo que se pueda establecer el primer modo de realización operativo y/o el segundo modo de realización operativo. El controlador se puede realizar mediante un controlador específico para el sistema o mediante un controlador de sistema genérico. Por ejemplo, si la estructura del sistema es una pala de rotor de una turbina eólica, un controlador de pala de rotor específico o un controlador de turbina eólica general de la turbina eólica que lleva la pala de rotor se puede usar para implementar el primer modo realización (ciclo de prueba) y/o el segundo modo de realización operativo (ciclo de reparación).

25 **[0019]** De acuerdo con un modo de realización, el sistema comprende una disposición de protección contra rayos que tiene un receptor de rayos, un dispositivo de puesta a tierra que se puede conectar efectivamente a una disposición de puesta a tierra, y medios conductores que conectan el receptor de rayos al dispositivo de puesta a tierra, en particular en el que la disposición de protección contra rayos está conectado eléctricamente al dispositivo de determinación.

30 **[0020]** De acuerdo con otro modo de realización, la estructura está configurada como una pala de rotor para una turbina eólica. En particular, en este caso, el sistema se puede identificar como un sistema de palas de rotor que comprende al menos una pala de rotor propiamente dicha, el receptor de rayos, un dispositivo de puesta a tierra que se puede conectar de forma eficaz a una disposición de puesta a tierra de una turbina eólica o de un buje de la turbina eólica, y medios conductores que conectan el receptor de rayos al dispositivo de puesta a tierra, en particular en el que la disposición de protección contra rayos está conectada eléctricamente al dispositivo de determinación. Además, la disposición de blindaje puede comprender una capa de blindaje, por ejemplo que comprende una malla de cobre, en la que la disposición de blindaje está conectada a los medios conductores por medio de un conductor de blindaje.

35 **[0021]** La pala de rotor puede comprender una sección de raíz que tiene una raíz de pala, una sección de punta que tiene una punta de pala, una sección central que conecta la sección de raíz a la sección de punta y un revestimiento de pala que forma una superficie de succión y una superficie de presión de la pala de rotor.

40 **[0022]** Además, la pala de rotor comprende la disposición de calentamiento eléctrico que opcionalmente tiene al menos una capa o una pluralidad de capas de calentamiento. La disposición de calentamiento eléctrico puede tener varias partes, en el que la capa de calentamiento y/o partes de la disposición de calentamiento eléctrico o toda la disposición de calentamiento eléctrico están ubicadas y/o montadas en la pala de rotor.

45 **[0023]** De acuerdo con un modo de realización, la disposición de calentamiento es flexible de modo que puede realizar deformaciones de acuerdo con deformaciones de la pala de rotor en su conjunto o del revestimiento de la pala de rotor durante la operación de la turbina eólica, por ejemplo, debido a la flexión de la pala de rotor en una dirección de pestaña.

50 **[0024]** En particular, la disposición de calentamiento está dispuesta con el revestimiento de pala y se extiende por más del 50 %, en particular por más del 65 %, preferentemente por más del 80 %, de la longitud total de la pala de rotor en una dirección longitudinal de la pala de rotor.

55 **[0025]** La configuración antes mencionada y los detalles adicionales del diseño de la disposición de calentamiento se eligen de modo que la disposición de calentamiento esté configurada para ser capaz de reducir una unión adhesiva entre el hielo y una superficie exterior de la pala de rotor calentando eléctricamente una superficie respectiva. La disposición de calentamiento se puede realizar como una capa de calentamiento y puede comprender una pluralidad de capas de subcalentamiento. La capa de calentamiento de la disposición de calentamiento, o una subcapa respectiva, puede estar laminada dentro del revestimiento de la pala de rotor.

**[0026]** Por ejemplo, se puede obtener un grosor personalizado de una capa de calentamiento de la disposición de calentamiento de acuerdo con un denominado "grosor orientado y controlado con precisión", en particular para el propósito de satisfacer las necesidades de calentamiento de manera proporcionada y/o en varias coordenadas de la superficie de pala.

**[0027]** En particular, una sección transversal de la disposición de calentamiento no es constante en la dirección longitudinal de la pala de rotor; por ejemplo, el ancho y/o grosor de la capa de calentamiento en una posición longitudinal se puede determinar dependiendo del tamaño de la respectiva longitud de cuerda en dicha posición longitudinal.

**[0028]** De manera adicional y/o alternativa, el ancho y/o el grosor de la capa de calentamiento en una posición longitudinal puede ser proporcional y/o depender del tamaño de la respectiva longitud de cuerda en dicha posición longitudinal. Por tanto, el ancho y/o el grosor de la capa de calentamiento ubicada en un intervalo longitudinal de la pala de rotor que tiene un tamaño de cuerda creciente en la dirección longitudinal también se incrementaría en la dirección longitudinal, y/o el ancho y/o el grosor de la capa de calentamiento ubicada en un intervalo longitudinal de la pala de rotor que tiene un tamaño de cuerda decreciente en la dirección longitudinal también disminuiría en la dirección longitudinal. En este contexto, una dirección longitudinal se puede determinar como la que se extiende desde la raíz de pala hacia la punta de pala.

**[0029]** Independientemente de si la estructura se realiza como una pala de rotor de una turbina eólica, como una parte de un avión o como una parte de otra estructura propensa a la caída de rayos y la formación de hielo, la estructura, de acuerdo con un modo de realización, comprende lo siguiente:

Al menos una parte parcialmente reforzada con fibra está configurada como un revestimiento para al menos definir una conformación exterior de la estructura, en la que la parte reforzada con fibra comprende al menos una capa exterior, al menos una capa interior, al menos una capa de aislamiento de la disposición de aislamiento, al menos una capa de blindaje de la disposición de blindaje y al menos una capa de calentamiento de la disposición de calentamiento eléctrico.

**[0030]** La capa de aislamiento está dispuesta entre la capa de blindaje y la capa de calentamiento, en la que la capa de blindaje, la capa de aislamiento y la capa de calentamiento están dispuestas entre la capa exterior y la capa interior. Además, la capa de blindaje está dispuesta más cerca de la capa exterior que la capa de calentamiento.

**[0031]** Por tanto, la al menos una capa de calentamiento, en particular todas las capas de calentamiento, están aisladas con respecto al revestimiento. Por ejemplo, esto se puede conseguir laminando la capa de calentamiento entre capas adicionales de un material de revestimiento reforzado con fibra usando una resina no conductora, es decir, aislante.

**[0032]** De acuerdo con un modo de realización, no todas las capas se extienden necesariamente unas sobre otras, sino que las capas pueden tener diferentes tamaños, lo que varía, por tanto, las áreas de superposición.

**[0033]** De acuerdo con un modo de realización, la disposición de calentamiento y/o la capa de calentamiento tienen una resistencia global lo suficientemente alta como para mitigar suficientemente el hielo en la superficie de la estructura logrando una disipación de energía deseada en forma de calor. De forma alternativa o adicional, la disposición de calentamiento tiene una resistencia global de al menos 0,1 ohmio y/o de no más de 1 ohmio.

**[0034]** De acuerdo con un modo de realización, la disposición de calentamiento está configurada para introducir suficiente energía térmica en el revestimiento para fundir la adherencia del hielo a una superficie del revestimiento, por ejemplo induciendo más de 10 kW en la superficie respectiva, y/o no más de 400 kW, en particular no más de 200 kW. Por ejemplo, el límite superior puede depender del sistema de control de potencia usado, por ejemplo calentamiento continuo, control de encendido y apagado, control de fase, control de tensión, modulación por ancho de pulso, control de ciclo integral o cualquier combinación de los mismos.

**[0035]** De acuerdo con un modo de realización, la disposición de calentamiento está configurada para introducir suficiente energía térmica en el revestimiento, por ejemplo más de 0,1 kW por metro cuadrado de superficie del revestimiento de pala, en particular más de 0,5 kW/m<sup>2</sup>, preferentemente más de 1 kW/m<sup>2</sup>, y/o no más de 20 kW/m<sup>2</sup>, en particular no más de 10 kW/m<sup>2</sup>, preferentemente no más de 3 kW/m<sup>2</sup>. Dichos valores pueden depender del área efectiva, borde de ataque, borde de salida, sección de punta, sección central y/o sección de raíz a cubrir.

**[0036]** De acuerdo con un modo de realización, la capa de calentamiento se realiza como un material sólido continuo. El término "material continuo" se refiere a un material que esencialmente no tiene discontinuidades ni intersecciones físicas, como orificios o recortes. Sin embargo, dicho término no puede excluir que al menos algunas intersecciones físicas, por ejemplo para propósitos de montaje o de conexión eléctrica, estén presentes en el material continuo.

- 5 **[0037]** De acuerdo con otro modo de realización, la capa de calentamiento está configurada de modo que se puede proporcionar como material de cinta, por ejemplo en forma enrollada. Por ejemplo, la materia prima de la capa de calentamiento es una cinta de cobre o una cinta de carbono enrolladas, que son fáciles de transportar y/o manipular durante la fabricación.
- [0038]** De acuerdo con un modo de realización, la disposición de aislamiento y/o la capa de aislamiento están hechas, al menos parcialmente, de un material autorreparador.
- 10 **[0039]** El término "material autorreparador" se debe interpretar como un material que es capaz de reparar daños menores cuando se somete a una condición externa específica. Dicha condición externa debe ser diferente de cualquier posible condición operativa. Por ejemplo, dicha condición externa puede ser una temperatura específica, posiblemente causada por el establecimiento de una corriente eléctrica específica a través de la propia ubicación que comprende el daño menor.
- 15 **[0040]** Por ejemplo, el material autorreparador está configurado de modo que, cuando se realiza el ciclo de reparación, una conductividad presente entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento se pueda volver ineficaz, por ejemplo al fundirse una parte del material autorreparador debido a un efecto de calentamiento de la corriente de blindaje-calentamiento.
- 20 **[0041]** De acuerdo con un aspecto de la invención, se divulga un procedimiento para operar un sistema de acuerdo con cualquiera de los modos de realización anteriores, o de acuerdo con una pluralidad o una combinación de los mismos. En particular, el procedimiento está configurado de modo que se proporcionan etapas adecuadas para realizar el primer modo de realización operativo (ciclo de prueba) y/o el segundo modo de realización operativo (ciclo de reparación).
- 25 **[0042]** En particular, el procedimiento comprende las siguientes etapas: aplicar, por medio de la fuente de alimentación, una cantidad predeterminada de una energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico, aplicar la tensión de blindaje-calentamiento entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico mientras la corriente de blindaje-calentamiento está limitada a al menos un umbral de corriente de mantenimiento, y/o establecer una cantidad predeterminada de la corriente de blindaje-calentamiento entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico.
- 30 **[0043]** Ciclo de prueba: De acuerdo con un modo de realización, la etapa de aplicar la tensión de blindaje-calentamiento entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico está configurada de modo que se realiza una prueba de conductividad entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico (primer modo de realización operativo, ciclo de prueba).
- 35 **[0044]** De acuerdo con un modo de realización específico del modo de realización anterior, la tensión de blindaje-calentamiento representa una tensión de prueba, en el que el procedimiento comprende las siguientes etapas adicionales: aplicar la tensión de prueba entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico, determinar la corriente de blindaje-calentamiento, si la corriente de blindaje-calentamiento medida no supera el umbral de corriente de blindaje-calentamiento mientras se aplica la tensión de prueba, se determina que una prueba de conductividad entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico se ha superado con éxito. Aplicando las etapas específicas anteriores, el primer modo de realización operativo se proporciona realizando el ciclo de prueba.
- 40 **[0045]** De acuerdo con un modo de realización específico del ciclo de prueba, la tensión de blindaje-calentamiento predeterminada comprende una pluralidad de tensiones de prueba crecientes, en el que el procedimiento comprende etapas adicionales: definir un umbral de tensión de prueba, por ejemplo 5 kV, aplicar la pluralidad de tensiones de prueba crecientes hasta alcanzar el umbral de tensión de prueba, determinar la corriente de blindaje-calentamiento y, si se ha aplicado la pluralidad de tensiones de prueba crecientes y la corriente de blindaje-calentamiento medida no supera el umbral de corriente de blindaje-calentamiento, se determina que la prueba se ha superado con éxito.
- 45 **[0046]** De acuerdo con un modo de realización, el procedimiento puede comprender las etapas adicionales de definir una pluralidad de umbrales de corriente de blindaje-calentamiento que tienen al menos un umbral mínimo de corriente de blindaje-calentamiento y un umbral máximo de corriente de blindaje-calentamiento, y ejecutar repetidamente el procedimiento de acuerdo con cualquiera de los ciclos de prueba descritos anteriormente (primer modo de realización operativo) mientras se aplica cada umbral de corriente de blindaje-calentamiento de la pluralidad de umbrales de corriente de blindaje-calentamiento en cada ejecución del ciclo de prueba, en particular comenzando con el umbral mínimo de corriente de blindaje-calentamiento hasta que se alcanza el umbral máximo de corriente de blindaje-calentamiento.
- 50 **[0047]** Ciclo de reparación: de acuerdo con un modo de realización del procedimiento descrito (segundo modo de realización operativo), en el que la etapa de establecer una cantidad predeterminada de la corriente de blindaje-
- 55
- 60
- 65

calentamiento entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico está configurada de modo que se reduce la conductividad entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico. Por ejemplo, la presencia de la corriente de blindaje-calentamiento da como resultado la difusión de la conexión eléctrica entre el blindaje y la capa de calentamiento, en particular al calentarse el material en el entorno de la conductividad.

[0048] De acuerdo con un modo de realización específico, la corriente de blindaje-calentamiento es una corriente de reparación eléctrica, en la que la corriente de reparación eléctrica supera un determinado umbral mínimo de corriente de reparación eléctrica y/o no supera un determinado umbral máximo de corriente de reparación eléctrica. El procedimiento comprende además las etapas de establecer la corriente de reparación eléctrica entre la disposición de blindaje y la disposición de calentamiento eléctrico.

[0049] De acuerdo con un modo de realización, el primer modo de realización operativo (ciclo de prueba) y el segundo modo de realización operativo (ciclo de reparación) se pueden combinar y/o integrar de modo que, en una primera etapa, si no se supera la prueba de conductividad de acuerdo con cualquiera de los modos de realización del ciclo de prueba, se realiza el procedimiento de acuerdo con el ciclo de reparación.

[0050] De acuerdo con un aspecto adicional, se divulga un rotor para una turbina eólica, en el que el rotor comprende un buje rotatorio y al menos una pala de rotor de acuerdo con un modo de realización o una pluralidad de los modos de realización descritos anteriormente. La pala de rotor está montada de forma rotatoria en el buje, en el que el buje comprende un conjunto de *pitch* para hacer rotar la pala de rotor alrededor de un eje de *pitch* de la pala de rotor.

[0051] En otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a una turbina eólica que comprende un rotor de acuerdo con uno de los modos de realización anteriores de un rotor para una turbina eólica.

[0052] Adicionalmente o de forma alternativa, se divulga una turbina eólica, en la que la turbina eólica comprende un buje rotatorio que está conectado a un generador eléctrico de modo que el generador eléctrico puede rotar mediante el rotor y generar energía eléctrica del mismo, y un sistema de acuerdo con cualquiera de los modos de realización anteriores del sistema, en la que la estructura está configurada como una pala de rotor montada de forma rotatoria en el buje, y en la que el controlador está configurado para realizar el procedimiento de acuerdo con el primer modo de realización operativo (ciclo de prueba) y/o con el segundo modo de realización operativo (ciclo de reparación).

[0053] Estas y otras características, aspectos y ventajas de la presente invención se respaldarán y describirán además con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención.

#### Breve descripción de los dibujos

[0054] Una divulgación completa y suficiente de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, se expone en la memoria descriptiva, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

La FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 2 ilustra una vista interna simplificada de un modo de realización de una góndola de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación, que ilustra, en particular, la góndola durante una operación normal;

la FIG. 3 ilustra esquemáticamente un modo de realización de una pala de rotor de una turbina eólica de la FIG. 1; y

la FIG. 4 es una representación esquemática de una configuración del revestimiento de la pala de rotor de la FIG. 3; y

la FIG. 5 es un diagrama de flujo que describe el primer modo de realización operativo y el segundo modo de realización operativo.

[0055] Las características individuales representadas en las figuras se muestran relativamente entre sí y, por lo tanto, no están necesariamente a escala. Los elementos similares o iguales en las figuras, incluso si se muestran en diferentes modos de realización, se representan con los mismos números de referencia.

#### Descripción detallada de la invención

**[0056]** Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, de los que uno o más ejemplos se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, que no limitará la invención. De hecho, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de un modo de realización se pueden usar con otro modo de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones como dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

**[0057]** La FIG. 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica 10 ejemplar. En el modo de realización ejemplar, la turbina eólica 10 es una turbina eólica de eje horizontal. De forma alternativa, la turbina eólica 10 puede ser una turbina eólica de eje vertical. En el modo de realización ejemplar, la turbina eólica 10 incluye una torre 12 que se extiende desde un sistema de soporte 14, una góndola 16 montada en la torre 12 y un rotor 18 que está acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje rotatorio 20 y al menos una pala de rotor 100 acoplada a y que se extiende hacia afuera desde el buje 20. En el modo de realización ejemplar, el rotor 18 tiene tres palas de rotor 100. En un modo de realización alternativo, el rotor 18 incluye un número mayor o menor que tres palas de rotor 100. En el modo de realización ejemplar, la torre 12 está hecha de acero tubular para definir una cavidad (no mostrada en la FIG. 1) entre un sistema de soporte 14 y la góndola 16. En un modo de realización alternativo, la torre 12 es cualquier tipo adecuado de torre que tenga cualquier altura adecuada.

**[0058]** Las palas de rotor 100 están espaciadas alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para permitir que la energía cinética se convierta, a partir del viento, en energía mecánica utilizable y, posteriormente, en energía eléctrica. Las palas de rotor 100 se engranan al buje 20 acoplando una sección de raíz 110 al buje 20 en una pluralidad de regiones de transferencia de carga 26. Las regiones de transferencia de carga 26 pueden tener una región de transferencia de carga de buje y una región de transferencia de carga de pala (ambas no mostradas en la FIG. 1). Las cargas inducidas en las palas de rotor 100 se transfieren al buje 20 por medio de las regiones de transferencia de carga 26.

**[0059]** En un modo de realización, las palas de rotor 100 tienen una longitud que varía de aproximadamente 15 metros (m) a aproximadamente 91 m. De forma alternativa, las palas de rotor 100 pueden tener cualquier longitud adecuada que permita que la turbina eólica 10 funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, otros ejemplos no limitantes de longitudes de pala incluyen 20 m o menos, 37 m, 48,7 m, 50,2 m, 52,2 m o una longitud que sea mayor de 91 m. Cuando el viento incide en las palas de rotor 100 desde una dirección del viento 28, el rotor 18 rota alrededor de un eje de rotación 30. A medida que las palas de rotor 100 rotan y se someten a fuerzas centrífugas, las palas de rotor 100 también se someten a diversas fuerzas y momentos. De este modo, las palas de rotor 100 se pueden desviar y/o rotar desde una posición neutra, o no desviada, hasta una posición desviada.

**[0060]** Además, un ángulo de *pitch* de las palas de rotor 100, es decir, un ángulo que determina una perspectiva de las palas de rotor 100 con respecto a la dirección del viento, se puede cambiar mediante un sistema de *pitch* 32 para controlar la carga y potencia generadas por la turbina eólica 10 ajustando una posición angular de al menos una pala de rotor 100 con respecto a vectores de viento. Se muestran ejes de *pitch* 34 de las palas de rotor 100. Durante la operación de la turbina eólica 10, el sistema de *pitch* 32 puede cambiar un ángulo de *pitch* de las palas de rotor 100 de modo que las palas de rotor 100 se muevan a una posición de bandera, de modo que la perspectiva de al menos una pala de rotor 100 con respecto a vectores de viento proporcione que un área de superficie mínima de la pala de rotor 100 se oriente hacia los vectores de viento, lo que hace más fácil reducir una velocidad de rotación y/o facilita una entrada en pérdida del rotor 18.

**[0061]** En el modo de realización ejemplar, un *pitch* de pala de cada pala de rotor 100 se controla individualmente por un controlador de turbina eólica 36 o por un sistema de control de *pitch* 80. De forma alternativa, el *pitch* de pala para todas las palas de rotor 100 se puede controlar simultáneamente por dichos sistemas de control.

**[0062]** Además, en el modo de realización ejemplar, a medida que cambia la dirección del viento 28, una dirección de orientación ("*yaw direction*") de la góndola 16 puede rotar alrededor de un eje de orientación ("*yaw axis*") 38 para situar las palas de rotor 100 con respecto a la dirección del viento 28.

**[0063]** En el modo de realización ejemplar, el controlador de turbina eólica 36 se muestra como que está centralizado dentro de la góndola 16; sin embargo, el controlador de turbina eólica 36 puede ser un sistema distribuido por toda la turbina eólica 10, en el sistema de soporte 14, dentro de un parque eólico y/o en un centro de control remoto. El controlador de turbina eólica 36 incluye un procesador 40 configurado para realizar los procedimientos y/o etapas descritos en el presente documento. Además, muchos de los demás componentes descritos en el presente documento incluyen un procesador. Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no se limita a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como ordenador, sino que se refiere, en términos generales, a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador de lógica programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables, y estos términos se usan de manera intercambiable en el presente documento. Se debe entender que un procesador y/o un sistema de control también pueden incluir memoria, canales de entrada y/o canales de salida.

**[0064]** La FIG. 2 es una vista en sección ampliada de una parte de la turbina eólica 10. En el modo de realización ejemplar, la turbina eólica 10 incluye la góndola 16 y el rotor 18 que está acoplado de forma rotatoria a la góndola 16. Más específicamente, el buje 20 del rotor 18 se acopla de forma rotatoria a un generador eléctrico 42 situado dentro de la góndola 16 por el eje principal 44, una caja de engranajes 46, un eje rápido 48 y un acoplamiento 50. En el modo de realización ejemplar, el eje principal 44 está dispuesto al menos parcialmente coaxial a un eje longitudinal (no mostrado) de la góndola 16. Una rotación del eje principal 44 acciona la caja de engranajes 46 que posteriormente acciona el eje rápido 48, convirtiendo el movimiento de rotación relativamente lento del rotor 18 y del eje principal 44 en un movimiento de rotación relativamente rápido del eje rápido 48. Este último se conecta al generador 42 para generar energía eléctrica con la ayuda de un acoplamiento 50.

**[0065]** La caja de engranajes 46 y el generador 42 se pueden sostener mediante un bastidor de estructura de soporte principal de la góndola 16, opcionalmente realizado como un bastidor principal 52. La caja de engranajes 46 puede incluir una carcasa de caja de engranajes que se conecta al bastidor principal 52 mediante uno o más brazos de par de torsión. En el modo de realización ejemplar, la góndola 16 también incluye un rodamiento de soporte delantero principal 60 y un rodamiento de soporte posterior principal 62. Además, el generador 42 se puede montar en el bastidor principal 52 desacoplando medios de soporte 54, en particular para evitar que las vibraciones del generador 42 se introduzcan en el bastidor principal 52 y, de este modo, provoquen una fuente de emisión de ruido.

**[0066]** Preferentemente, el bastidor principal 52 está configurado para soportar toda la carga generada por el peso del rotor 18 y los componentes de la góndola 16 y por las cargas del viento y de rotación, y, además, para introducir estas cargas en la torre 12 de la turbina eólica 10. El eje de rotor 44, el generador 42, la caja de engranajes 46, el eje rápido 48, el acoplamiento 50 y cualquier dispositivo de sujeción, soporte y/o fijación asociado incluyendo, pero sin limitarse a, el soporte 52, el rodamiento de soporte delantero 60 y el rodamiento de soporte posterior 62, se denominan, en ocasiones, tren de accionamiento 64.

**[0067]** La góndola 16 también puede incluir un mecanismo de accionamiento de orientación 56 que se puede usar para rotar la góndola 16 y, de este modo, también el rotor 18 alrededor del eje de orientación 38 para controlar la perspectiva de las palas de rotor 100 con respecto a la dirección del viento 28.

**[0068]** Para orientar la góndola apropiadamente con respecto a la dirección del viento 28, la góndola 16 también puede incluir al menos un mástil meteorológico 58 que puede incluir una veleta y un anemómetro (ninguno mostrado en la FIG. 2). El mástil 58 proporciona información al controlador de turbina eólica 36 que puede incluir la dirección del viento y/o la velocidad del viento.

**[0069]** En el modo de realización ejemplar, el sistema de *pitch* 32 se dispone al menos parcialmente como un conjunto de *pitch* 66 en el buje 20. El conjunto de *pitch* 66 incluye uno o más sistemas de accionamiento de *pitch* 68 y al menos un sensor 70. Cada sistema de accionamiento de *pitch* 68 está acoplado a una respectiva pala de rotor 100 (mostrada en la FIG. 1) para modular el ángulo de *pitch* de una pala de rotor 100 a lo largo del eje de *pitch* 34. Solo se muestra uno de los tres sistemas de accionamiento de *pitch* 68 en la FIG. 2.

**[0070]** En el modo de realización ejemplar, el conjunto de *pitch* 66 incluye al menos un rodamiento de *pitch* 72 acoplado al buje 20 y a una respectiva pala de rotor 100 (mostrada en la FIG. 1) para rotar la respectiva pala de rotor 100 alrededor del eje de *pitch* 34. El sistema de accionamiento de *pitch* 68 incluye un motor de accionamiento de *pitch* 74, una caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76 y un piñón de accionamiento de *pitch* 78. El motor de accionamiento de *pitch* 74 está acoplado a la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76 de modo que el motor de accionamiento de *pitch* 74 confiera una fuerza mecánica a la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76. La caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76 está acoplada al piñón de accionamiento de *pitch* 78 de modo que el piñón de accionamiento de *pitch* 78 rote mediante la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76. El rodamiento de *pitch* 72 está acoplado al piñón de accionamiento de *pitch* 78 de modo que la rotación del piñón de accionamiento de *pitch* 78 provoque una rotación del rodamiento de *pitch* 72.

**[0071]** El sistema de accionamiento de *pitch* 68 está acoplado al controlador de turbina eólica 36 para ajustar el ángulo de *pitch* de una pala de rotor 100 tras recibir una o más señales desde el controlador de turbina eólica 36. En el modo de realización ejemplar, el motor de accionamiento de *pitch* 74 es cualquier motor adecuado accionado por potencia eléctrica y/o un sistema hidráulico que permita que el conjunto de *pitch* 66 funcione como se describe en el presente documento. De forma alternativa, el conjunto de *pitch* 66 puede incluir cualquier estructura, configuración, disposición y/o componentes adecuados tales como, pero sin limitarse a, cilindros hidráulicos, resortes y/o servomecanismos. En determinados modos de realización, el motor de accionamiento de *pitch* 74 se acciona mediante la energía extraída de una inercia de rotación del buje 20 y/o una fuente de alimentación almacenada (no mostrada) que suministra energía a los componentes de la turbina eólica 10.

**[0072]** El conjunto de *pitch* 66 también incluye uno o más sistemas de control de *pitch* 80 para controlar el sistema de accionamiento de *pitch* 68 de acuerdo con señales de control del controlador de turbina eólica 36, en caso de situaciones prioritarias específicas y/o cuando el rotor 18 se acelera en exceso. En el modo de realización ejemplar,

el conjunto de *pitch* 66 incluye al menos un sistema de control de *pitch* 80 acoplado en comunicación a un respectivo sistema de accionamiento de *pitch* 68 para controlar el sistema de accionamiento de *pitch* 68 independientemente del controlador de turbina eólica 36. En el modo de realización ejemplar, el sistema de control de *pitch* 80 está acoplado al sistema de accionamiento de *pitch* 68 y a un sensor 70. Durante la operación normal de la turbina eólica 10, el controlador de turbina eólica 36 controla el sistema de accionamiento de *pitch* 68 para ajustar un ángulo de *pitch* de las palas de rotor 100.

**[0073]** En un modo de realización, en particular cuando el rotor 18 opera con una velocidad excesiva de rotor, el sistema de control de *pitch* 80 anula el controlador de turbina eólica 36, de modo que el controlador de turbina eólica 36 deja de controlar el sistema de control de *pitch* 80 y el sistema de accionamiento de *pitch* 68. Por tanto, el sistema de control de *pitch* 80 puede hacer que el sistema de accionamiento de *pitch* 68 mueva la pala de rotor 100 hasta una posición de bandera para reducir la velocidad de rotación del rotor 18.

**[0074]** De acuerdo con un modo de realización, un generador de potencia 84 que comprende, por ejemplo, una batería y/o condensadores eléctricos, está dispuesto en o dentro del buje 20 y está acoplado al sensor 70, al sistema de control de *pitch* 80 y al sistema de accionamiento de *pitch* 68 para proporcionar una fuente de alimentación a estos componentes. En el modo de realización ejemplar, el generador de potencia 84 proporciona una fuente continua de potencia al conjunto de *pitch* 66 durante la operación de la turbina eólica 10. En un modo de realización alternativo, el generador de potencia 84 proporciona potencia al conjunto de *pitch* 66 solo durante un evento de pérdida de potencia eléctrica de la turbina eólica 10. El evento de pérdida de potencia eléctrica puede incluir pérdida o caída de red de potencia, mal funcionamiento de un sistema eléctrico de la turbina eólica 10 y/o fallo del controlador de turbina eólica 36. Durante el evento de pérdida de potencia eléctrica, el generador de potencia 84 opera para proporcionar potencia eléctrica al conjunto de *pitch* 66 de modo que el conjunto de *pitch* 66 pueda operar durante el evento de pérdida de potencia eléctrica.

**[0075]** En el modo de realización ejemplar, el sistema de accionamiento de *pitch* 68, el sensor 70, el sistema de control de *pitch* 80, los cables y el generador de potencia 84 se sitúan cada uno en una cavidad 86 definida por una superficie interior 88 del buje 20. En un modo de realización alternativo, dichos componentes se sitúan con respecto a una superficie exterior 90 del buje 20 y se pueden acoplar, directa o indirectamente, a la superficie exterior 90.

**[0076]** La FIG. 3 es una representación esquemática no limitativa de una pala de rotor 100 de acuerdo con un modo de realización específico, en la que una parte del buje 20 se muestra mediante líneas discontinuas. Todo el rotor 18, que comprende palas de rotor 100 y el buje 20, puede rotar alrededor del eje de rotación 30.

**[0077]** De acuerdo con la representación de la materia objeto de la FIG. 3, el eje de *pitch* 34 es idéntico a un eje longitudinal 102 de la pala de rotor 100, en el que un eje longitudinal de una pala de rotor también puede ser diferente del eje de *pitch*, por ejemplo cuando se dispone de palas curvas.

**[0078]** Para describir la pala de rotor 100, se define una dirección longitudinal 104 de acuerdo con el eje longitudinal 102, y se determina una dirección de cuerda 108 de acuerdo con una cuerda 106 de la pala de rotor 100.

**[0079]** La pala de rotor 100 se puede estructurar en una sección de punta 120, una sección de raíz 110 y una sección central 118 que conecta la sección de raíz 110 y la sección de punta 120. La pala de rotor 100 comprende una raíz de pala 112 en la sección de raíz 110 y una punta de pala 122 en la sección de punta 120. La pala de rotor 100 comprende además una superficie de succión y una superficie de presión formadas por un revestimiento 130. La superficie de presión y la superficie de succión están conectadas por un borde de salida 126 y un borde de ataque 124, ambos formando delimitadores de la superficie de pala de rotor en la dirección de cuerda 108.

**[0080]** La pala de rotor 100 comprende una disposición de protección contra rayos 160 para recibir los rayos y conducir la energía del rayo hacia una disposición de puesta a tierra 24 de la turbina eólica 10, una disposición de blindaje 140 y una disposición de calentamiento eléctrico 150. La disposición de blindaje 140 y la disposición de calentamiento eléctrico 150 están dispuestas en el revestimiento 130 o directamente en una superficie interior o exterior del revestimiento 130.

**[0081]** La disposición de protección contra rayos 160 puede incluir un receptor o una pluralidad de receptores de rayos 162, por ejemplo dispuestos en la sección de punta 120 y configurados para recibir rayos durante una situación en la que se producen rayos, y además comprende al menos un dispositivo de puesta a tierra 164.

**[0082]** El dispositivo de puesta a tierra 164 está configurado para ser capaz de conducir la energía eléctrica de un rayo hacia una disposición de puesta a tierra 24 de la turbina eólica 10, en el que una conexión eléctrica entre el dispositivo de puesta a tierra 164 y la disposición de puesta a tierra 24 se puede elegir de acuerdo con su idoneidad. Por ejemplo, dicha conexión eléctrica se puede proporcionar mediante medios conductores 166 que comprenden, por ejemplo, un descargador de chispa adecuado o una disposición de arco.

**[0083]** Además, se proporcionan una fuente de alimentación 180 y un dispositivo de determinación 190, en los que la fuente de alimentación 180 y el dispositivo de determinación 190 están conectados eléctricamente a la disposición de calentamiento 150 y a la disposición de blindaje 140. La fuente de alimentación 180 y el dispositivo de determinación 190 se pueden combinar en un único componente técnico, en el que un controlador 186 se puede proporcionar para controlar la fuente de alimentación 180 y/o el dispositivo de determinación 190. De acuerdo con un modo de realización, el dispositivo de determinación 190 puede ser un dispositivo de medición, que se puede realizar como un componente específico que puede estar integrado en la fuente de alimentación 180 y/o en el controlador 36 de la turbina eólica.

**[0084]** El controlador 186, la fuente de alimentación 180 y/o el dispositivo de determinación 190 se pueden conectar a al menos un sensor de temperatura 194 mediante medios de conexión de sensor 192 (por ejemplo, un cable), en el que el sensor de temperatura 194 se puede disponer en el revestimiento 180 y en un área que comprende la disposición de calentamiento eléctrico 150 o en un área que no tiene la disposición de calentamiento eléctrico 150.

**[0085]** La FIG. 4 es una ilustración en sección esquemática a través del revestimiento 130 de la pala de rotor 100 que muestra una configuración posible, pero no limitante, de capas del revestimiento 130. La superficie interior del revestimiento 130 está formada, al menos parcialmente, por una capa interior 136. Cuando se mueve hacia la superficie exterior del revestimiento 130, la capa interior 136 va seguida de una primera capa de calentamiento 152 y una segunda capa de calentamiento 154 de la disposición de calentamiento eléctrico 150. La disposición de blindaje 140 que comprende una capa de blindaje 142 está aislada eléctricamente con respecto a la primera capa de calentamiento 152 y a la segunda capa de calentamiento 154 de la disposición de calentamiento eléctrico 150 con la ayuda de la disposición de aislamiento 146 que comprende al menos una capa de aislamiento 148. La superficie exterior del revestimiento 130 está formada por una capa exterior 134, preferentemente sellada del entorno por una capa de gel 132.

**[0086]** La disposición de calentamiento 150 está conectada a la fuente de alimentación 180 mediante el conductor de calentamiento 156. Por razones de seguridad, la disposición de calentamiento 150 también está conectada a medios conductores 166 de la disposición de protección contra rayos 160, en la que un dispositivo de protección contra sobretensiones 158 se proporciona eléctricamente entre los medios conductores 166 de la disposición de protección contra rayos 160 y la disposición de calentamiento eléctrico 150. Por tanto, en caso de que se presente una situación de sobretensión en la disposición de calentamiento eléctrico 150, la energía eléctrica sobrante puede ser conducida por medio del dispositivo de protección contra sobretensiones 158 a la disposición de protección contra rayos 160 para proteger la fuente de alimentación 180 y/o el dispositivo de determinación 190.

**[0087]** Además, la disposición de blindaje 140 está conectada eléctricamente a la fuente de alimentación 180 y/o al dispositivo de determinación 190 mediante el conductor de blindaje 144.

**[0088]** La fuente de alimentación 180 está configurada para aplicar una cantidad predeterminada de energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento 182, de modo que la energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento 182 esté presente efectivamente entre la disposición de blindaje 140 y la disposición de calentamiento eléctrico 150. Por ejemplo, la energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento 182 se proporciona a la disposición de blindaje 140 y a la disposición de calentamiento eléctrico 150 de modo que, como consecuencia, se aplica efectivamente una tensión de blindaje-calentamiento entre la disposición de blindaje 140 y la disposición de calentamiento eléctrico 150.

**[0089]** Además, si el revestimiento 130 está en condiciones adecuadas, como consecuencia del suministro de la energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento 182, una corriente de blindaje-calentamiento fluye entre la disposición de blindaje 140 y la disposición de calentamiento eléctrico 150, o viceversa. Por tanto, la tensión de blindaje-calentamiento y la corriente de blindaje-calentamiento son causadas por el suministro de la energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento 182 predeterminada.

**[0090]** El dispositivo de determinación 190 se puede conectar eléctricamente a la disposición de blindaje 140 y a la disposición de calentamiento eléctrico 150 de manera que se pueda determinar la tensión de blindaje-calentamiento y/o la corriente de blindaje-calentamiento presentes entre la disposición de blindaje 140 y la disposición de calentamiento eléctrico 150.

**[0091]** La FIG. 5 es un diagrama de flujo esquemático del procedimiento para comprobar la funcionalidad de la disposición de aislamiento 146 aplicando el ciclo de prueba y, además, del procedimiento para restaurar la funcionalidad de la disposición de aislamiento 146 aplicando el ciclo de reparación 300.

**[0092]** El proceso puede comenzar, en general, definiendo 202 un primer umbral de corriente de blindaje-calentamiento, en el que el umbral de corriente de blindaje-calentamiento representa una fuga de corriente aceptada entre la disposición de blindaje 140 en la disposición de calentamiento eléctrico 150 durante, en particular, exclusivamente durante, la ejecución del ciclo de prueba. El ciclo de prueba se puede realizar en varias iteraciones (bucles). En particular, el umbral de corriente de blindaje-calentamiento disminuye desde cada iteración hasta la

iteración subsiguiente, por ejemplo comenzando con 10 mA, aplicando posteriormente 5 mA, donde después se usa 1 mA como umbral aceptable de corriente de blindaje-calentamiento. De acuerdo con una alternativa opcional, el umbral de corriente de blindaje-calentamiento se incrementa desde cada iteración hasta la iteración subsiguiente, por ejemplo comenzando con 1 mA, aplicando posteriormente 5 mA, donde después se usa 10 mA como umbral aceptable de corriente de blindaje-calentamiento.

**[0093]** En la etapa 212 se define el tipo de tensión de prueba (rampa de tensión para la tensión de prueba para bucles de ciclos de prueba, por ejemplo incrementado cada bucle de 0 (0,5) kV a 5 kV en etapas de 100 V) y se aplica la primera tensión de prueba. Como consecuencia de la aplicación de la tensión de prueba en la etapa 212, el dispositivo de determinación 190 establece y determina una corriente de blindaje-calentamiento entre la disposición de blindaje 140 y la disposición de calentamiento eléctrico 150. En la etapa 206 se analiza si la corriente de blindaje-calentamiento resultante de la aplicación de la tensión de prueba (primera tensión de prueba) supera el (primer) umbral de corriente de blindaje-calentamiento determinado en la etapa 202. Si no es así, la pala de rotor (sistema) habrá superado con éxito el primer bucle del ciclo de prueba.

**[0094]** Posteriormente, la tensión de prueba se incrementa 208 a su siguiente valor más alto (segunda tensión de prueba) y la prueba se realiza repetidamente en la etapa 216. Si se ha aplicado la pluralidad de tensiones de prueba hasta el valor máximo de la tensión de prueba y se ha superado con éxito el ciclo de prueba, el umbral de corriente de blindaje-calentamiento se incrementa hasta al segundo umbral de corriente de blindaje-calentamiento y se realiza el ciclo de prueba aplicando repetidamente la pluralidad de tensiones de prueba. Finalmente, la pala de rotor habrá superado con éxito el ciclo de prueba si la corriente de blindaje-calentamiento determinada resultante de la tensión de prueba más alta es inferior al umbral aceptable de corriente de blindaje-calentamiento.

**[0095]** Se puede aplicar el ciclo de reparación 300 si no se supera el ciclo de prueba. Por ejemplo, si en la etapa 206 se determina que la corriente de blindaje-calentamiento supera el respectivo umbral de corriente de blindaje-calentamiento, el controlador 186 determina que debe haber una conductividad 184 inaceptable entre la disposición de blindaje 140 y la disposición de calentamiento eléctrico 150. Por lo tanto, la disposición de calentamiento 150 y otros componentes de la pala de rotor 100 no estarán suficientemente protegidos contra sobretensiones durante la caída de un rayo. Por lo tanto, la funcionalidad de aislamiento de la disposición de aislamiento 146 se debe mejorar, por ejemplo aplicando el ciclo de reparación 300 (segundo modo de realización operativo).

**[0096]** Durante la etapa 302 del ciclo de reparación 300, se proporciona una cantidad y calidad específicas de una corriente de blindaje-calentamiento (corriente de reparación eléctrica) entre la disposición de blindaje 140 y la disposición de calentamiento eléctrico 150 para que pase a través de la conductividad 184. Como consecuencia, la conductividad 184 se calienta debido a la corriente de reparación eléctrica, lo que finalmente puede dar como resultado un deterioro de la conductividad 184. Dicho deterioro de la conductividad da como resultado un incremento de la funcionalidad de aislamiento, por ejemplo debido a una fusión del material de la pala de rotor y/o debido a una quema de la conductividad 184. Posteriormente, el ciclo de prueba se puede realizar repetidamente para determinar si la disposición de aislamiento 146 está funcionando como se requiere.

**[0097]** Los expertos en la materia son conscientes de que el ciclo de prueba y el ciclo de reparación se pueden realizar de forma repetida e iterativa; por ejemplo, la corriente de reparación eléctrica se puede incrementar desde una primera corriente de reparación eléctrica a una corriente de reparación eléctrica posterior más alta si no se supera el ciclo de prueba 200 al haberse aplicado solo una primera corriente de reparación eléctrica más baja durante el ciclo de reparación 300.

**[0098]** Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para permitir que cualquier experto en la técnica lleve la invención a la práctica, lo que incluye fabricar y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos concebidos por los expertos en la técnica, por ejemplo que la capa de calentamiento 152, 154 y las capas de aislamiento 148 pueden estar dispuestas de manera diferente a la mostrada en la FIG. 3.

**Números de referencia**

**[0099]**

- 10 turbina eólica
- 12 torre
- 14 sistema de soporte
- 16 góndola
- 18 rotor

|     |   |  |
|-----|---|--|
| 20  | buje rotatorio                                      |  |
| 22  | parte de transformador de buje                      |  |
| 24  | disposición de puesta a tierra                      |  |
| 26  | regiones de transferencia de carga                  |  |
| 28  | dirección del viento                                |  |
| 30  | eje de rotación                                     |  |
| 32  | sistema de <i>pitch</i>                             |  |
| 34  | ejes de <i>pitch</i>                                |  |
| 36  | controlador de la turbina eólica                    |  |
| 38  | eje de orientación                                  |  |
| 40  | procesador  |  |
| 42  | generador eléctrico                                 |  |
| 44  | eje principal                                       |  |
| 46  | caja de engranajes                                  |  |
| 48  | eje rápido  |  |
| 50  | acoplamiento  |  |
| 52  | bastidor principal                                  |  |
| 54  | medios de soporte de desacoplamiento                |  |
| 56  | mecanismo de accionamiento de orientación           |  |
| 58  | mástil meteorológico                                |  |
| 60  | rodamiento de soporte delantero                     |  |
| 62  | rodamiento de soporte posterior                     |  |
| 64  | tren de accionamiento                               |  |
| 66  | conjunto de <i>pitch</i>                            |  |
| 68  | sistema de accionamiento de <i>pitch</i>            |  |
| 70  | sensor  |  |
| 72  | rodamiento de <i>pitch</i>                          |  |
| 74  | motor de accionamiento de <i>pitch</i>              |  |
| 76  | caja de engranajes de accionamiento de <i>pitch</i> |  |
| 78  | piñón de accionamiento de <i>pitch</i>              |  |
| 80  | sistema de control de <i>pitch</i>                  |  |
| 84  | generador de potencia                               |  |
| 100 | pala de rotor                                       | 180 fuente de alimentación                           |
| 102 | eje longitudinal                                    | 182 energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento |
| 104 | dirección longitudinal                              | 184 conductividad                                    |
| 106 | cuerda  | 186 controlador                                      |
| 108 | dirección de cuerda                                 | 190 dispositivo de determinación                     |
| 110 | sección raíz  | 192 medios de conexión de sensor                     |
| 112 | raíz de pala  | 194 sensor de temperatura                            |

## ES 3 013 327 T3

|     |   |     |  |
|-----|---|-----|--|
| 114 | brida de raíz                                   | 200 | ciclo de prueba  |
| 118 | sección central                                 | 202 | definición de umbral de corriente de blindaje-calentamiento  |
| 120 | sección de punta                                | 204 | determinación de corriente de blindaje-calentamiento   |
| 122 | punta de pala                                   | 206 | comparación de corriente de blindaje-calentamiento determinada con umbral de corriente de blindaje-calentamiento |
| 124 | borde de ataque                                 | 208 | tensión de prueba creciente  |
| 126 | borde de salida                                 | 210 | umbral de corriente de blindaje-calentamiento creciente  |
| 128 | parte reforzada con fibra                       | 212 | aplicación de tensión de blindaje-calentamiento  |
| 130 | revestimiento                                   | 214 | definición de umbral de tensión de prueba  |
| 132 | capa de gel                                     | 216 | prueba de tensión final  |
| 134 | capa exterior                                   | 300 | reducción de conductividad (ciclo de reparación)   |
| 136 | capa interior                                   | 302 | establecimiento de corriente de mantenimiento  |
| 138 | dirección de grosor                             |     |  |
| 140 | disposición de blindaje                         |     |  |
| 142 | capa de blindaje (malla de cobre)               |     |  |
| 144 | conductor de blindaje                           |     |  |
| 146 | disposición de aislamiento                      |     |  |
| 148 | capa de aislamiento                             |     |  |
| 150 | disposición de calentamiento eléctrico          |     |  |
| 152 | primera capa de calentamiento                   |     |  |
| 154 | segunda capa de calentamiento                   |     |  |
| 156 | conductor de calentamiento                      |     |  |
| 158 | dispositivo de protección contra sobretensiones |     |  |
| 160 | disposición de protección contra rayos          |     |  |
| 162 | receptor de rayos                               |     |  |
| 164 | dispositivo de puesta a tierra                  |     |  |
| 166 | medios conductores                              |     |  |

REIVINDICACIONES

1. Un sistema, que comprende:
  - 5 una estructura propensa a la caída de rayos y a la formación de hielo, en la que la estructura comprende
    - una disposición de blindaje (140) conectada eléctricamente a una disposición de protección contra rayos (160);
    - 10 una disposición de calentamiento eléctrico (150) conectada a una fuente de alimentación (180) para mitigar la formación de hielo en la estructura; y
    - una disposición de aislamiento eléctrico (146) que se proporciona efectivamente entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150);
    - 15 la fuente de alimentación (180) configurada para aplicar una cantidad predeterminada de energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento (182) entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150); y
    - 20 un dispositivo de determinación (190) que está conectado eléctricamente a la disposición de blindaje (140) y a la disposición de calentamiento eléctrico (150) de modo que se puede determinar una tensión blindaje-calentamiento y/o una corriente blindaje-calentamiento que están presentes entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150), en el que la tensión de blindaje-calentamiento y la corriente de blindaje-calentamiento son causadas por el suministro de la energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento predeterminada (182).
    - 25
  2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende un controlador (36, 186) configurado para controlar la fuente de alimentación (180) de modo que
    - 30 la cantidad predeterminada de energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento (182) se aplica entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150),
    - la tensión de blindaje-calentamiento se aplica (212) entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150) mientras la corriente de blindaje-calentamiento está limitada a al menos un umbral de corriente de blindaje-calentamiento, y/o
    - 35 una cantidad predeterminada de la corriente de blindaje-calentamiento se establece (302) entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150).
  3. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, que comprende la disposición de protección contra rayos (160) que tiene un receptor de rayos (162), un dispositivo de puesta a tierra (164) que se puede conectar de forma eficaz a una disposición de puesta a tierra (24), y medios conductores (166) que conectan el receptor de rayos (162) al dispositivo de puesta a tierra (164), en particular en el que la disposición de protección contra rayos (160) está conectada eléctricamente al dispositivo de determinación (190).
  4. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la estructura está configurada como una pala de rotor (100) para una turbina eólica (10) o como una parte de una aeronave, en particular en el que la parte de la aeronave comprende, al menos parcialmente, un ala, un empenaje o una pala de rotor.
  5. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes,
    - en el que la estructura comprende, al menos parcialmente, una parte reforzada con fibra (128) que está configurada como un revestimiento (130) para al menos definir una conformación externa de la estructura,
    - en el que la parte reforzada con fibra (128) al menos comprende al menos una capa exterior (130), al menos una capa interior (136), al menos una capa de aislamiento (148) de la disposición de aislamiento (146), al menos una capa de blindaje (142) de la disposición de blindaje (140), y al menos una capa de calentamiento (152, 154) de la disposición de calentamiento eléctrico (150),
    - en el que la capa de aislamiento (148) está dispuesta entre la capa de blindaje (142) y la capa de calentamiento (152, 154),
    - en el que la capa de blindaje (142), la capa de aislamiento (148) y la capa de calentamiento (152, 154) están dispuestas entre la capa exterior (130) y la capa interior (136), y

en el que la capa de blindaje (142) está dispuesta más cerca de la capa exterior (130) que de la capa de calentamiento (152, 154).

- 5 6. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la disposición de aislamiento (146) y/o la capa de aislamiento (148) están hechas, al menos parcialmente, de un material autorreparador.
- 10 7. Un procedimiento para operar un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo el procedimiento la etapa de:
- 15 aplicar, por medio de la fuente de alimentación (180), la cantidad predeterminada de la energía eléctrica de prueba y/o de mantenimiento (182) entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150),
- 20 aplicar (212) la tensión de blindaje-calentamiento entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150) mientras la corriente de blindaje-calentamiento está limitada a al menos un umbral de corriente de mantenimiento, y/o
- 25 establecer (302) una cantidad predeterminada de la corriente de blindaje-calentamiento entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150).
8. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la etapa de aplicar (212) la tensión de blindaje-calentamiento entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150) está configurada de modo que se realiza una prueba (200) de una conductividad (184) entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150).
- 30 9. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7 u 8, en el que la tensión de blindaje-calentamiento es una tensión de prueba, comprendiendo además el procedimiento las etapas de:
- 35 aplicar (212) la tensión de prueba entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150),
- determinar (204) la corriente de blindaje-calentamiento,
- 40 si la corriente de blindaje-calentamiento medida no supera el umbral de corriente de blindaje-calentamiento mientras se aplica la tensión de prueba, se determina (206) que se ha superado con éxito una prueba (200) de una conductividad (184) entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150).
10. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que la tensión de blindaje-calentamiento predeterminada comprende una pluralidad de tensiones de prueba crecientes, comprendiendo además el procedimiento:
- 45 definir un umbral de tensión de prueba (214),
- 50 aplicar (212) la pluralidad de tensiones de prueba crecientes hasta alcanzar el umbral de tensión de prueba,
- determinar (204) la corriente de blindaje-calentamiento, y
- 55 si se ha aplicado la pluralidad de tensiones de prueba crecientes y la corriente de blindaje-calentamiento medida no supera el umbral de corriente de blindaje-calentamiento, se determina (216) que la prueba se ha superado con éxito.
11. Un procedimiento para operar un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
- 60 definir una pluralidad de umbrales de corriente de blindaje-calentamiento que tienen al menos un umbral mínimo de corriente de blindaje-calentamiento y un umbral máximo de corriente de blindaje-calentamiento;
- 65 ejecutar repetidamente el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes 7 a 11 mientras se aplica cada umbral de corriente de blindaje-calentamiento de la pluralidad de umbrales de corriente de blindaje-calentamiento en cada ejecución del procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes 7 a 10.

- 5 12. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, en el que la etapa de establecer (302) una cantidad predeterminada de la corriente de blindaje-calentamiento entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150) está configurada de modo que se reduce (300) una conductividad (184) entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150).
- 10 13. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, en el que la corriente de blindaje-calentamiento es una corriente de reparación eléctrica, en el que la corriente de reparación eléctrica supera un umbral de corriente de reparación eléctrica, comprendiendo además el procedimiento las etapas de:  
establecer (302) la corriente de reparación eléctrica entre la disposición de blindaje (140) y la disposición de calentamiento eléctrico (150).
- 15 14. Un procedimiento para operar un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, comprendiendo el procedimiento las etapas de:  
si no se supera la prueba (200) de una conductividad (184) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, realizar el procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12 o 13; y  
20 realizar repetidamente la prueba (200) de una conductividad (184) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11.
- 25 15. Una turbina eólica (10), que comprende:  
un buje rotatorio (20) que está conectado a un generador eléctrico (42) de modo que el generador eléctrico (42) puede rotar mediante el rotor (18) y generar energía eléctrica del mismo; y  
un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6,  
30 en el que la estructura está configurada como una pala de rotor (100) montada de forma rotatoria en el buje (20), y  
en el que el controlador (36, 186) está configurado para realizar el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes 7 a 14.
- 35

Fig. 1

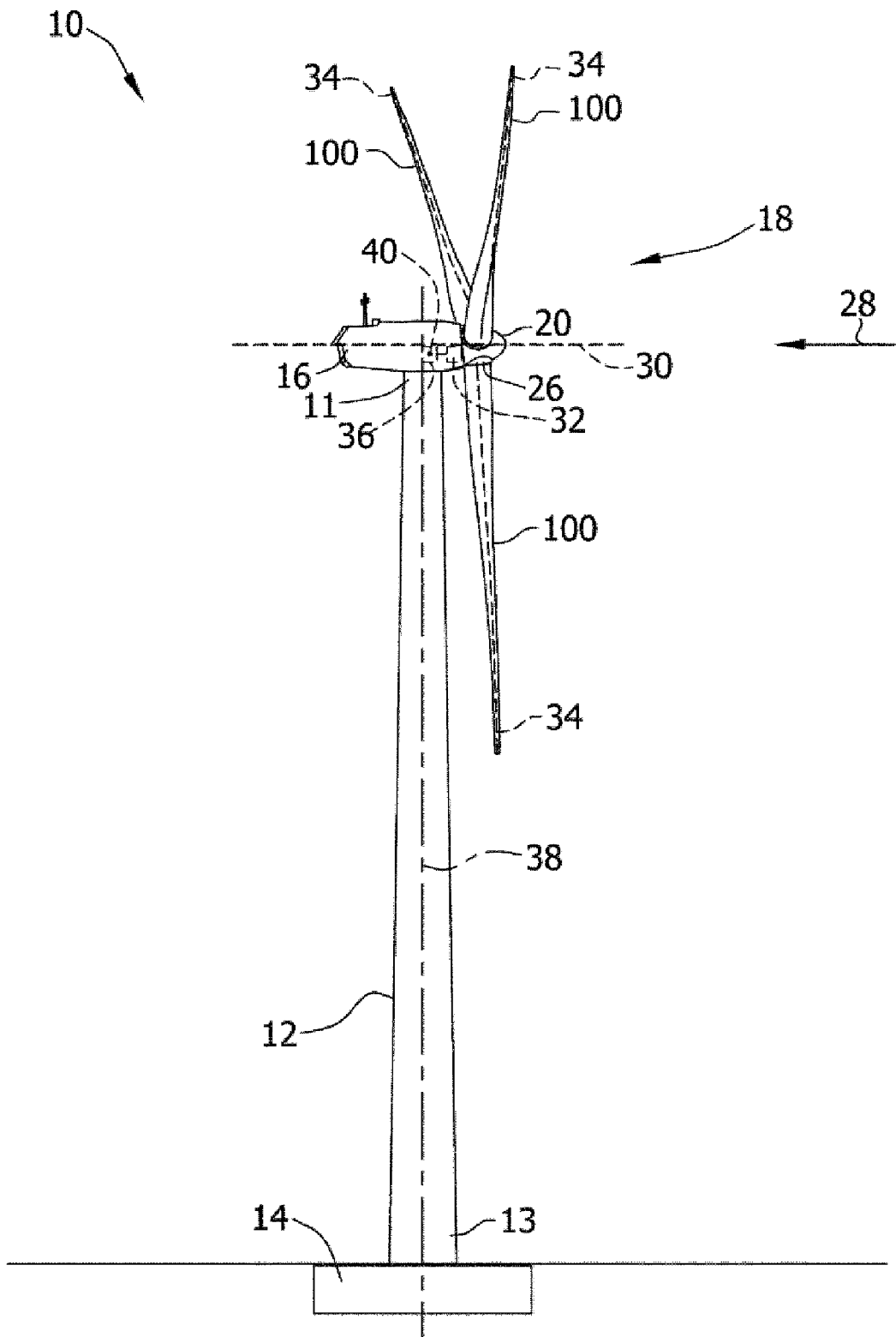


Fig. 2

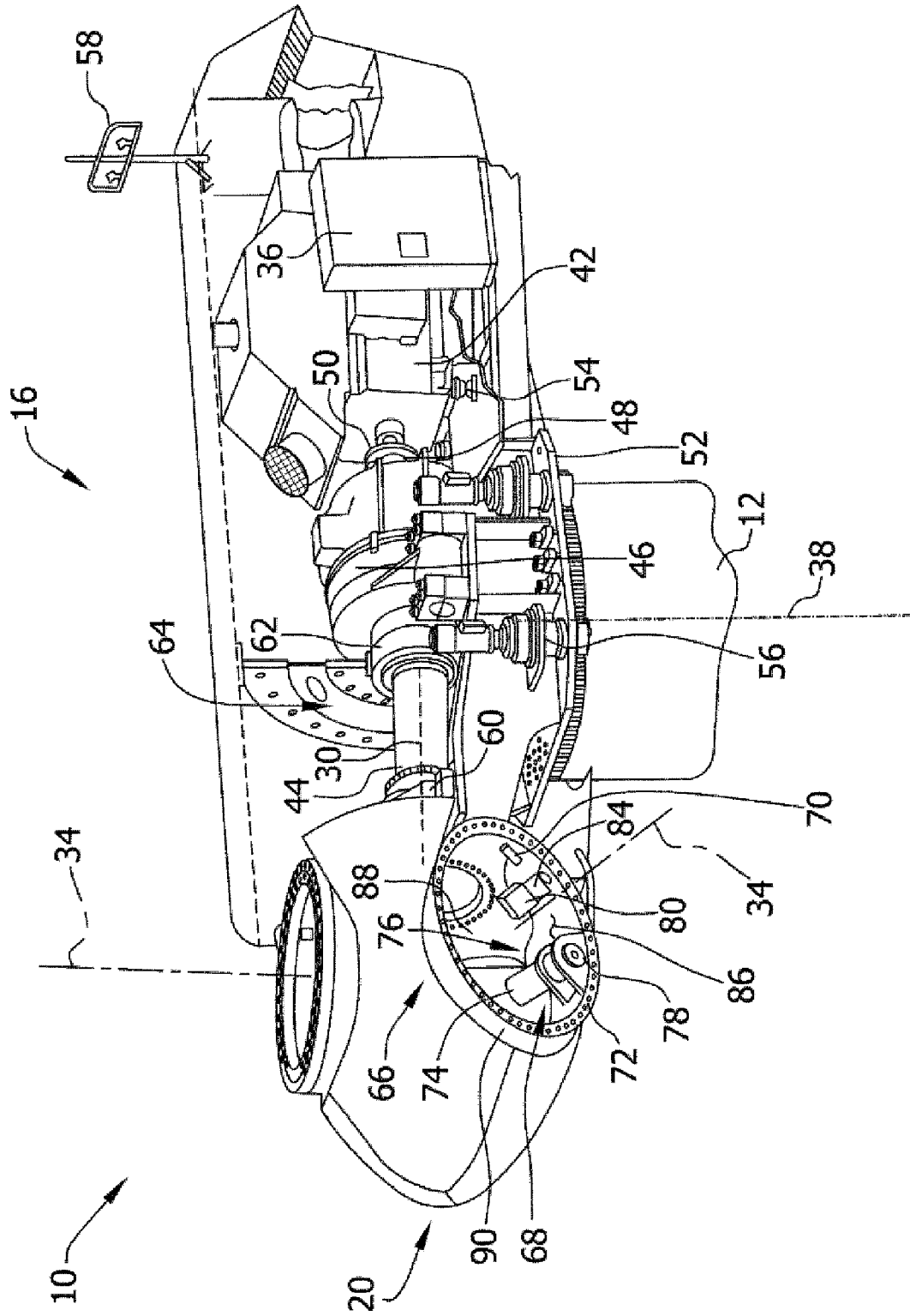


Fig. 3

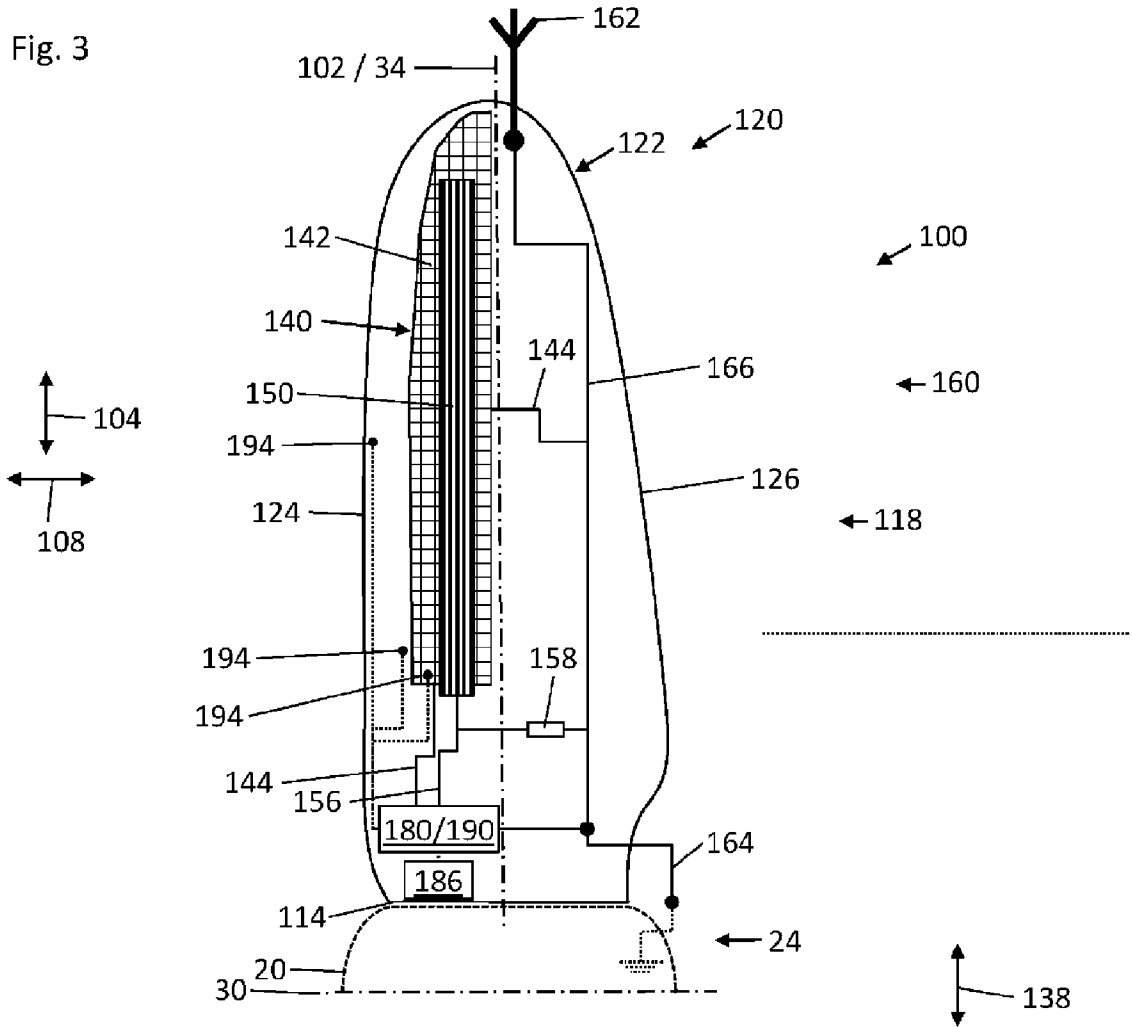


Fig. 4

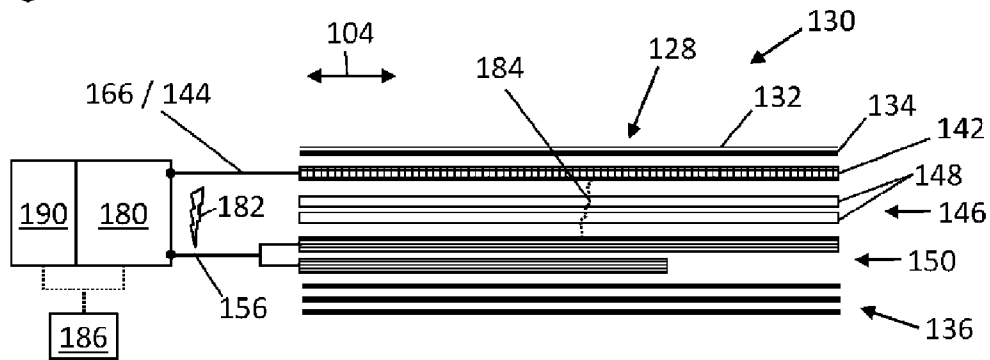


Fig. 5

