

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 386 315**

51 Int. Cl.:
F03D 11/00 (2006.01)
H02G 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07722596 .9**
96 Fecha de presentación: **08.05.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2021628**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.02.2009**

54 Título: **Sistema de protección contra rayos para una pala de rotor de turbina eólica y procedimiento para la fabricación de una pala de este tipo**

30 Prioridad:
09.05.2006 DK 200600653

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
17.08.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
17.08.2012

73 Titular/es:
**Vestas Wind Systems A/S
Hedeager 44
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:
BERTELSEN, Kim

74 Agente/Representante:
Arias Sanz, Juan

ES 2 386 315 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 de protección contra rayos para una pala de rotor de turbina eólica y procedimiento para la fabricación de una pala de este tipo

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a una pala de rotor de turbina eólica según el preámbulo de la reivindicación 1 y a un procedimiento para fabricar una pala de rotor de turbina eólica.

Descripción de la técnica relacionada

- 10 La caída de rayos contra las turbinas eólicas ha sido siempre un problema que necesita atención debido a que los daños en los componentes de las turbinas eólicas reducen el tiempo de funcionamiento de la turbina eólica y se suma a los costes de operación de la turbina eólica.

La tendencia de la tecnología moderna de las turbinas eólicas ha sido la construcción de turbinas eólicas aún más grandes, que aumentan la susceptibilidad de las turbinas eólicas a la caída de rayos. Las palas del rotor de las turbinas eólicas son los componentes de una turbina eólica que están en mayor riesgo de ser alcanzados por un rayo. Se han desarrollado sistemas para proteger las palas del rotor de la turbina eólica contra la caída de rayos.

- 15 Algunos de estos sistemas utilizan una capa de metal conductora de corriente sobre la superficie de las puntas de las palas de la turbina eólica o incluso las puntas de las palas hechas de metal. La capa de metal o punta de metal está conectada al conductor inferior de la pala interna, y posteriormente un potencial de tierra, es decir, que actúa como un receptor de rayos ampliado.

- 20 La solicitud de patente internacional WO 2005/031158 divulga unos medios de protección contra rayos donde la punta de la pala está parcial o totalmente hecha de metal sólido.

Otros sistemas usualmente tienen uno o más receptores de rayos colocados en la superficie de la pala del rotor conectada a un conductor inferior de la pala interna, que proporciona una trayectoria de baja impedancia a tierra para el seguimiento de los rayos.

- 25 Un ejemplo de este sistema se describe en la solicitud de patente internacional WO 02/48546, así como en los documentos WO-A 2005/026358, WO-A 00/14405 y WO-A 96/0782.

- 30 Sin embargo, el rayo no siempre golpea a los receptores de los rayos al golpear en la pala del rotor de la turbina eólica. A veces el rayo golpeará y entrará en la punta de la pala y formará una trayectoria a tierra mediante la formación de un arco entre la superficie de la pala y el conductor inferior, aunque esta trayectoria a tierra es más inminente, que si el rayo hubiera impactado directamente en el receptor de rayos. La presencia del arco dentro de la punta de la pala del rotor puede causar daños graves en el extremo de las palas del rotor, por ejemplo, debido al aumento significativo de la temperatura en el espacio confinado de la punta de la pala del rotor.

Por consiguiente, un objetivo de la presente invención es proporcionar una pala de rotor de turbina eólica sin los inconvenientes de los sistemas conocidos de protección contra rayos, y especialmente para proporcionar una pala de rotor de turbina eólica con un sistema de protección contra rayos mejorado en relación con el arco interno.

- 35 Además, es un objetivo de la presente invención proporcionar un procedimiento ventajoso de producir una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la presente invención.

La invención

- 40 La invención proporciona una pala de rotor de turbina eólica, comprendiendo dicha pala del rotor una barrera interna (12) colocada dentro de la pala (5), en la que la punta (10) de la pala y la barrera establecen una cavidad (13) definida dentro de la pala, y en la que la barrera establece una segunda distancia interna (L_2) desde el extremo distal de la punta de la pala, en la que la primera distancia interna es menor que la segunda distancia interna, en la que la base del receptor de rayos (11) está acoplada a por lo menos un receptor de rayos y está encerrada en la cavidad definida, y en la que al menos una porción de la cavidad está llena con medios que tienen una resistencia dieléctrica que es sustancialmente mayor que el aire ambiente.

- 45 Así se obtiene un sistema de protección contra rayos mejorado para una pala de turbina eólica mediante el cambio de la propiedad eléctrica interna. El valor límite, cuando se produce el corte dieléctrico dentro de la pala del rotor, aumenta sustancialmente, impidiendo así el arco interno.

Al aumentar el campo eléctrico soportado entre la base del receptor de rayos y la superficie interior de la pala del rotor, un campo eléctrico mucho mayor es necesario para iniciar un corte dieléctrico en el interior de la pala del rotor. Al aumentar el

campo eléctrico soportado a un tamaño sustancialmente mayor que el campo eléctrico soportado por el aire atmosférico, cuando se utiliza como material de aislamiento interno, la ignición de un arco dentro de la punta de la pala del rotor puede impedirse, y así el daño a la punta de la pala del rotor.

5 Al cambiar la propiedad eléctrica interna se asegura que la trayectoria del rayo estará fuera de la pala hasta que se alcanza un receptor de rayos, y especialmente sin establecer una jaula metálica protectora sobre la superficie de la pala.

Mediante el término "base receptora de rayos" se entiende cualquier medio para conectar eléctricamente uno o más receptores de rayos a un conductor inferior de rayos.

El término "propiedades eléctricas" debe entenderse como la resistividad, la conductividad o la resistencia dieléctrica.

10 Mediante el término "aire ambiental" se entiende el aire atmosférico en la pala de la turbina eólica y en la proximidad del punto de intercepción del rayo. Las propiedades eléctricas del aire ambiental pueden variar con la temperatura, humedad presión, etc., que pueden producirse fuera de una pala de la turbina eólica.

En un aspecto de la presente invención, una barrera interna se coloca a una segunda distancia interna desde el extremo distal de la pala del rotor, estableciendo una cavidad definida desde dicha barrera interna al extremo distal de la punta de la pala.

15 De esta manera, la base receptora de rayos está delimitada en el extremo de la punta de la pala del rotor de la parte restante de la pala del rotor en una cavidad definida y cerrada. Por lo tanto, varias formas posibles de aumentar la resistencia dieléctrica de la capa aislante entre la superficie interior de la pala del rotor y el conductor inferior de rayos están habilitadas en el extremo de la punta de la pala del rotor.

20 Mediante el término "extremo distal" se entiende el extremo de la punta de la pala del rotor que está más alejado de la base de la pala del rotor de la turbina eólica.

En otro aspecto de la presente invención, dichos medios para cambiar al menos una propiedad eléctrica de la pala del rotor aumentan el campo eléctrico soportado entre la base receptora de rayos y la superficie interna de la pala del rotor. Por lo tanto, es posible aumentar la resistencia del campo eléctrico soportado entre la superficie interior de la pala del rotor y la base receptora de rayos, y por lo tanto, impide el arco interno en caso de la caída de un rayo.

25 En un aspecto de la presente invención, una barrera interna se coloca a una segunda distancia interna L_{12} desde el extremo distal de la pala del rotor, estableciendo una cavidad definida a partir de dicha barrera interna en el extremo distal de la punta de la pala.

30 En un aspecto de la presente invención, dicha cavidad definida encierra la base receptora de rayos. Así, es posible utilizar el implante para colocar correctamente la base receptora de rayos en relación con los receptores dentro de la pala del rotor.

En un aspecto de la presente invención, dicha base receptora de rayos está incrustada en un implante hecho, por ejemplo, de material plástico o compuesto. Así, es posible establecer un implante con la forma deseada y precisa en un molde. Además, es posible y fácil de colocar la base receptora de rayos correctamente dentro del implante.

35 En un aspecto de la presente invención, dicho implante está prefabricado con dicha base receptora de rayos y medios para conectar a uno o más receptores de rayos y un conductor inferior de rayos. Así, es fácil establecer el sistema de protección contra rayos en la punta de la pala del rotor.

40 En aspectos de la presente invención, dicho implante comprende una forma que corresponde sustancialmente a la parte interna de la punta de la pala, por ejemplo, una forma de aleta de tiburón y con aberturas laterales para el contacto entre dicha base receptora de rayos y dichos receptores, y con elevaciones adaptadas a una superficie interior de la pala. Así, es posible colocar el implante correctamente y, al mismo tiempo, llenar la mayor parte del volumen interior de la punta de la pala.

En un aspecto de la presente invención, una parte inferior de barrera de dicho implante es parte de dicha barrera interna. Así, es posible colocar el implante correctamente en relación a los receptores, mientras se establece un volumen de la cavidad cerrada lista para llenarse con un material de la cavidad.

45 En un aspecto de la presente invención, dicha segunda distancia interna está en el intervalo entre 0,2 metros y 2,0 metros, y preferiblemente entre 0,2 metros y 0,6 metros desde el extremo distal de la pala de rotor de la turbina eólica. Así, los receptores de rayos en la superficie de la pala podrían colocarse a una distancia adecuada desde el extremo distal de la pala del rotor sin aumentar la probabilidad de arco interno en caso de que un rayo caiga en el extremo distal de la pala del rotor.

50 En otros aspectos de la presente invención, dichos medios para aumentar el campo eléctrico soportado comprenden una

resistencia dieléctrica sustancialmente mayor que el aire ambiente y con una resistencia dieléctrica mayor que 1×10^7 V/m, preferiblemente en el intervalo de 2×10^7 V/m a 8×10^7 V/m. De esta manera, se asegura un aislamiento eléctrico adecuado entre la base receptora de rayos y la superficie interna de la pala del rotor.

5 En aún otro aspecto de la presente invención, el volumen de aire atmosférico en la cavidad definida es menor del 10% del volumen de la cavidad cerrada, preferiblemente menor del 3% del volumen de la cavidad cerrada. Si el material, de relleno en la cavidad cerrada, está contaminado con un alto contenido de burbujas de aire atmosférico, la resistencia dieléctrica del material se reduce sustancialmente, con lo que la protección contra el arco interno se degrada sustancialmente, porque el arco puede producirse entre las cavidades.

10 En otro aspecto de la presente invención, la porción restante de aire atmosférico dentro de la cavidad definida está distribuida de manera sustancialmente homogénea. Una distribución homogénea del contenido restante de burbujas de aire dentro de la cavidad cerrada, preferentemente a lo largo de la transición entre el material de relleno en la cavidad y la superficie interior de la pala del rotor, asegura que las burbujas de aire restantes sólo proporcionan una reducción menor y predecible en la protección de la pala del rotor de la turbina eólica.

15 En un aspecto de la presente invención, dichos medios para aumentar el campo eléctrico soportado son un material de poliuretano, por ejemplo, un material de poliuretano no expansible de dos componentes. Este material tiene una resistencia dieléctrica alta y, por lo tanto, es especialmente adecuado para evitar el arco interno dentro de la cavidad definida.

20 En otro aspecto de la presente invención, la punta de la pala está prefabricada como una parte separada antes de conectarla a la pala del rotor de la turbina eólica, por ejemplo, como una unidad para el montaje complementario a una pala en funcionamiento. Así, se proporciona otra forma ventajosa para producir una punta de la pala de acuerdo con la presente invención.

En un aspecto de la presente invención, dicha base receptora de rayos está conectada a un potencial eléctrico de tierra. Así, una trayectoria de baja impedancia a tierra se proporciona para que sea seguida por el rayo, y por lo tanto, se proporciona una desviación efectiva de dicho rayo.

25 En otro aspecto de la presente invención, al menos parte del conductor inferior de rayos dentro de la pala del rotor está aislado de los alrededores mediante una cubierta hecha de un material eléctricamente aislante, tal como un tubo que se contrae con calor, en parte o en la longitud total del conductor inferior de rayos. El aislamiento de las partes del conductor inferior de rayos dentro de la pala del rotor de la turbina eólica evita el arco interno entre el conductor inferior de rayos y otras partes conductoras en el interior de la pala del rotor de la turbina eólica, y así el daño a dichas partes conductoras y a cualesquiera circuitos eléctricos posibles conectados a las mismas.

30

En otro aspecto de la presente invención, dicha base receptora de rayos está alojada en un implante prefabricado que comprende medios para conectar dicha base receptora de rayos a uno o más receptores de rayos y a una conexión eléctrica a tierra. El implante prefabricado proporciona unos cimientos para la base receptora de rayos en el interior de la cavidad cerrada, por lo que se permite una colocación precisa de la base receptora de rayos.

35 La invención también proporciona un procedimiento para fabricar una pala de rotor de turbina eólica, en el que dicho procedimiento comprende las etapas de:

establecer al menos dos carcasas de la pala,

colocar una base receptora de rayos con una conexión a un conductor inferior de rayos en una carcasa de la pala,

40 establecer contacto entre al menos un receptor de rayos en la superficie de la pala en una distancia L_{ex} desde el extremo distal de la punta de la pala y la base receptora de rayos y entre dichas al menos dos carcasas de la pala, y

cambiar por lo menos una propiedad eléctrica de la pala del rotor en la base receptora de rayos, en comparación con las propiedades eléctricas de aire ambiental aumentando el campo eléctrico soportado entre la base receptora de rayos y la superficie interior de la pala del rotor.

45 En una primera realización del procedimiento del aspecto del procedimiento de la invención, el procedimiento comprende al menos una barrera interna que se coloca en el extremo distal de la al menos una carcasa de pala de la pala del rotor para establecer una cavidad definida que se extiende una segunda distancia interna desde la barrera interna al extremo distal de la punta de la pala.

50 En una segunda realización del procedimiento del aspecto del procedimiento de la invención o la primera realización del procedimiento, el procedimiento comprende que la base receptora de rayos y el conductor inferior de rayos estén integrados y conectados en un implante prefabricado.

En una tercera realización del procedimiento, dicha segunda realización del procedimiento comprende que dicho implante prefabricado se adapte a una superficie interior de la pala mediante elevaciones del implante.

5 En una cuarta realización del procedimiento del aspecto del procedimiento de la invención o cualquiera de las realizaciones anteriores del procedimiento, el procedimiento comprende que una parte inferior de la barrera de dicho implante se utilice como parte de dicha barrera interna.

En una quinta realización del procedimiento, cualquiera de la primera, segunda, tercera y/o cuarta realizaciones del procedimiento comprende que un material que comprende una resistencia dieléctrica sustancialmente mayor que la resistencia dieléctrica del aire ambiental se introduzca en dicha cavidad definida.

10 En una sexta realización del procedimiento del aspecto del procedimiento de la invención o cualquiera de las realizaciones anteriores del procedimiento, el procedimiento comprende que se aplique calor en la proximidad de la pala, por ejemplo, en la superficie exterior de las carcasas de la pala que definen la pala del rotor de la turbina eólica.

15 En una séptima realización del procedimiento, cualquiera de la primera, segunda, tercera, cuarta, quinta y/o sexta realizaciones del procedimiento, el procedimiento comprende que dicho material se introduzca en dicha cavidad definida a partir de una posición inferior y dicha cavidad se ventile desde una posición superior, por ejemplo, la posición menor y más alta de dicha cavidad, respectivamente.

Figuras

La invención se describirá a continuación con referencia a las figuras, en las que:

La figura 1 ilustra una gran turbina eólica moderna,

La figura 2 ilustra un sistema de protección contra rayos estándar de una pala de rotor de turbina eólica,

20 La figura 3 ilustra el interior de una pala de rotor de turbina eólica equipada con un sistema de protección contra rayos y el problema del arco interno,

La figura 4a ilustra esquemáticamente una primera realización de un sistema de protección contra rayos para una pala de rotor de turbina eólica según la presente invención,

25 La figura 4b ilustra esquemáticamente otra realización de un sistema de protección contra rayos para una pala de rotor de turbina eólica según la presente invención

Las figuras 5a y 5b ilustran una realización preferida de un sistema de protección contra rayos que incluye una base receptora de rayos integrada en un implante,

La figura 6 ilustra el posicionamiento del implante en relación con la superficie interna de una pala de turbina eólica,

30 La figura 7 ilustra dos carcasas de la pala del rotor de turbina eólica y la construcción de un sistema de protección contra rayos para una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con una realización preferida de la presente invención, y

La figura 8 ilustra un procedimiento de llenado de la cavidad en el extremo distal de una pala de rotor de la turbina eólica con un material de relleno líquido de la cavidad.

Descripción detallada de la presente invención

35 La figura 1 ilustra una turbina eólica moderna 1. La turbina eólica 1 comprende una torre 2 colocada en unos cimientos. Una góndola 3 de turbina eólica con un mecanismo de orientación se coloca en la parte superior de la torre 2.

Un eje de baja velocidad se extiende fuera de la parte delantera de la góndola y está conectado con un rotor de la turbina eólica a través de un buje 4 de la turbina eólica. El rotor de la turbina eólica comprende al menos una pala de rotor, por ejemplo, tres palas de rotor 5, tal como se ilustra. Las palas del rotor 5 se pueden cambiar de paso en relación con el buje 4 mediante el uso de mecanismos de paso o fijos montados en el buje 4, tal como las palas del rotor.

40 Las palas del rotor 5 son huecas y, por lo tanto, tienen una superficie exterior y una superficie interior.

La figura 2 ilustra un sistema de protección contra rayos bien conocido para una pala del rotor 5 que comprende uno o más receptores de rayos 7 hechos en un material conductor de corriente. Los receptores están dispuestos en la superficie exterior de la pala del rotor y conectados a un conductor inferior de rayos 8 que proporciona una trayectoria de baja impedancia a una conexión a tierra 9.

45 En las tormentas hay una gran diferencia de potencial eléctrico y, por lo tanto, un gran campo eléctrico entre las nubes y la superficie de la tierra a causa de una acumulación de cargas en las nubes. Cuando el tamaño del campo eléctrico excede

de la resistencia dieléctrica del aire, las condiciones para una descarga eléctrica en forma de una caída de un rayo están presentes. El gran potencial eléctrico ioniza las moléculas de aire y se produce un corte dieléctrico mediante el cual las moléculas de aire ionizadas se convierten en conductoras que llevan la carga en exceso del campo eléctrico. En el aire atmosférico a temperatura y presión estándar, esto ocurre para campos eléctricos del orden de 3×10^6 V/m.

- 5 Cuando el rayo 6a golpea un receptor de rayos 7, el rayo 6a se desvía a través del conductor inferior de rayos 8 a la conexión a tierra 9.

La figura 3 ilustra el sistema de protección contra rayos de la figura 2 y, especialmente, lo que puede suceder cuando el rayo cae sobre la punta de la pala 10 en lugar del receptor de rayos 7.

- 10 El rayo 6a inicialmente golpea la punta de la pala 10 de la pala del rotor 5. Un campo eléctrico se acumula internamente entre la superficie interior 18 de la pala del rotor 5 y el conductor inferior 8, que está conectado a la conexión a tierra 9. Cuando el tamaño de este campo eléctrico interno supera la resistencia dieléctrica del aire entre la superficie interior 18 de la pala del rotor 5 y el conductor inferior 8, en el que dicho aire sirve como medio de aislamiento, una trayectoria conductora eléctrica es ionizada entre la superficie interior 18 de la pala del rotor 5 y el conductor inferior 8 y se enciende un arco 6b. Especialmente en el interior del espacio cerrado de la punta de la pala del rotor 10, el encendido del arco de 15 6b puede causar graves daños a la pala del rotor 5.

La figura 4a ilustra el extremo de la punta de una pala de rotor 5 de turbina eólica que está diseñado para evitar el arco interno de acuerdo con una primera realización de la presente invención.

- 20 La pala del rotor 5 de la turbina eólica comprende uno o más receptores de rayos 7 dispuestos a una distancia externa L_{ex} desde el extremo distal de la pala del rotor 5. Los receptores de rayos 7 están conectados a una base receptora de rayos 11 hecha de un material conductor de corriente. La base 11 está conectada al conductor inferior de rayos 8 formando una trayectoria de baja impedancia para la conexión a tierra 9 para la corriente del rayo.

- 25 Una barrera interna 12 está colocada a una segunda distancia interna L_{i2} desde el extremo distal de la pala del rotor 5 formando una cavidad cerrada definida 13, tal como se indica mediante las líneas de trazos, donde se coloca la base del receptor de rayos 11. Para impedir el arco interno entre la superficie interior 18 de la pala del rotor 5 y la base receptora de rayos 11, y por lo tanto el conductor inferior 8, la cavidad cerrada 13 se llena con un material 22a de una alta resistencia dieléctrica. La alta resistencia dieléctrica del material de relleno de la cavidad 22a asegura que una trayectoria externa se establezca para el rayo 6a hasta que se alcance un receptor de rayos 7. La trayectoria externa tendrá una impedancia más baja en relación con el potencial de tierra de una trayectoria interna desde el punto de golpeo en la punta de la pala 10 a través de material de relleno de la cavidad 22a a la base receptora de rayos 11.

- 30 El material 22a puede, en una realización preferida, ser de dos componentes de poliuretano no expansible. Una propiedad importante del material de poliuretano es su resistencia dieléctrica, como es deseable para soportar un gran campo eléctrico entre la base receptora de rayos 11, y por lo tanto el conductor inferior 8, y la superficie interior 18 de la pala del rotor 5 sin la aparición de un corte dieléctrico.

- 35 Para asegurar la adecuada separación eléctrica entre la superficie interior 18 de la pala del rotor 5 y la base receptora de rayos 11, se prefiere que la resistencia dieléctrica del material de poliuretano, u otros materiales dieléctricos de relleno en la cavidad, sea considerablemente mayor que la del aire a la temperatura, humedad y presión estándares. Ventajosamente, la resistencia dieléctrica es al menos de 1×10^7 V/m, preferiblemente en el intervalo de 2×10^7 V/m a 8×10^7 V/m.

- 40 Como es la propiedad dieléctrica del material de poliuretano la que se desea, otros materiales, como sólidos, fluidos y gases, con propiedades dieléctricas similares se encuentran dentro del alcance de la presente invención. Un ejemplo de otro material puede ser un material de silicona.

- 45 Otra propiedad importante del material de poliuretano preferido, u otros materiales adecuados, es sustancialmente sus propiedades de no expansión, porque se prefiere que idealmente todo el aire atmosférico sea expulsado de la cavidad cerrada 13. Un mayor contenido de aire atmosférico en el material de relleno de la cavidad 22a en forma de, por ejemplo burbujas, o cavidades pequeñas en el material podría estropear las propiedades dieléctricas de los materiales y, por lo tanto, la protección contra los rayos de la punta de la pala 10 de la pala del rotor 5.

- 50 Por lo tanto, se prefiere que el volumen de las burbujas de aire atmosférico en la cavidad cerrada 13 comprenda no más del 10% del volumen de la cavidad, preferiblemente menos del 3% del volumen de la cavidad. Además, se prefiere que cualesquiera burbujas restantes de aire atmosférico en la cavidad cerrada 13 estén homogéneamente distribuidas entre el material de relleno de la cavidad 22a y la superficie interior 18 de la pala del rotor 5.

La base receptora de rayos 11 se ilustra en la figura como en forma de bola. Formas redondeadas y continuas se prefieren generalmente en conexión con altas tensiones para evitar arcos entre los bordes. Sin embargo, la base receptora de rayos 11 puede comprender una serie de formas diferentes.

La figura 4b ilustra el extremo de la punta de una pala de rotor de turbina eólica 5 que está diseñada para evitar el arco interno de acuerdo con otra realización de la presente invención.

5 Para esta realización, los receptores de rayos 7 están conectados a una base receptora de rayos 11 elaborada como un cable directo o varilla o cualquier conexión eléctrica similar entre dichos receptores 7. Además, la base receptora de rayos 11 está conectada al conductor inferior de rayos 8 formando una trayectoria de baja impedancia para la conexión a tierra 9 para la corriente del rayo.

Las figuras 5a y 5b ilustran una realización preferida de un sistema de protección contra rayos que incluye una base receptora de rayos 11 y un implante 14. El implante 14 se utiliza para colocar la base receptora de rayos 11 correctamente dentro de la cavidad definida 13 de la punta de la pala.

10 La figura 5a ilustra el conductor inferior de rayos 8 conectado a una base receptora de rayos 11 en el extremo del conductor. La base receptora de rayos 11 se ilustra en una realización preferida, que comprende una forma redonda con dos superficies de contacto situadas en el lado opuesto de la base.

15 La conexión y una primera parte del conductor inferior de rayos 8 está provista de una cubierta 17, tal como un tubo externo o una capa externa en un material eléctricamente aislante, para impedir el arco entre el conductor inferior y otras partes conductoras de la pala del rotor 5 de la turbina eólica. Un aislamiento eléctrico adecuado del conductor inferior 8 y las partes conductoras internas se obtendrían con un material que tiene una resistencia dieléctrica de al menos 1×10^7 V/m, preferiblemente al menos 2×10^7 V/m.

La figura 5b ilustra el implante con la base receptora de rayos 11 integrada y tal como se ve desde abajo.

20 La línea punteada de la figura ilustra la parte del conductor inferior y la base receptora de rayos 11 que entra en el implante.

25 El implante está formado preferiblemente en un molde alrededor de la base receptora de rayos 11 y la primera parte del conductor inferior de rayos 8 provista de una cubierta 17. El implante puede estar hecho en un material plástico o material compuesto con una resistencia dieléctrica considerablemente mayor que la del aire ambiental a una temperatura, humedad y presión estándares, por ejemplo, a $T = 20^\circ\text{C}$, $\text{HR} = 50\%$, $P = 1 \text{ atm}$. La resistencia dieléctrica del material del implante puede, por ejemplo, haberse probado con el uso de la norma ASTM 149 o IEC 80243.

El implante comprende una parte inferior de barrera 16 que corresponde al interior de la punta de la pala y con una forma de cuña en la dirección de la punta de la pala. La parte superior del implante es en forma de aleta de tiburón para encajar y en general llenar la cavidad definida que está cerrado por la parte inferior de barrera 16.

30 Ambos lados del implante en la forma de aleta de tiburón comprenden una abertura 26 de la que la base receptora de rayos 11 puede extenderse hacia fuera para hacer contacto con los receptores 7 integrados en la superficie de la pala del rotor.

Uno de los lados del implante también comprende una serie de elevaciones 15 para posicionar el implante correctamente en relación con la superficie interior de la pala 18 (tal como se ilustra en la figura 6).

35 La figura 6 ilustra esquemáticamente cómo el implante 14 de la figura 5b se fija inicialmente en relación con la superficie interior 18 de la pala del rotor 5.

La superficie interior se ilustra como una línea de puntos 18 en la que se coloca de manera estable el implante 14 con la ayuda de las elevaciones 15. Además, las elevaciones aseguran una distancia correcta entre el implante 14 y la superficie 18, de tal manera que la superficie de contacto de la base receptora de rayos 11 está en contacto con los receptores de rayos 7.

40 El volumen de la cavidad está listo para ser llenado con un material de relleno de la cavidad 22a después de que el implante 14 se coloque y se fije en la superficie interior 18 de la pala del rotor 5 (tal como se explicará más adelante).

La figura 7 ilustra esquemáticamente las primeras etapas en la producción de una pala de rotor 5 de acuerdo con una realización preferida de la presente invención.

45 La pala del rotor 5 comprende una primera carcasa de la pala 19 y una segunda carcasa de la pala 20, cuando pegadas juntas forman la porción exterior de la pala del rotor 5.

La primera etapa en un procedimiento de producción preferido es aplicar material adhesivo a lo largo de los bordes anterior y posterior de la primera carcasa de la pala 19 y la segunda carcasa de la pala 20.

Parte del material adhesivo participa en el establecimiento de la barrera interna 12 mediante la aplicación de una tira en forma de salchicha en la dirección transversal de la primera carcasa de la pala 19 y la segunda carcasa de la pala 20 a

una segunda distancia interna L_{12} desde el extremo distal de la pala del rotor 5.

En la segunda etapa, el implante 14, prefabricado con la base receptora de rayos 11 y el conductor inferior de rayos 8, se coloca en la primera carcasa de la pala 19 entre la barrera interna 12 y el extremo distal de la primera carcasa de la pala 19. El implante 14 se fija a la superficie interna mediante las elevaciones del implante, así como el material adhesivo.

- 5 El implante prefabricado 14 se utiliza para estabilizar la base receptora de rayos 11 durante el proceso de producción adicional.

La tercera etapa del proceso de producción es poner la primera carcasa de la pala 19 y la segunda carcasa de la pala 20 juntas, dejando una cavidad 13 definida y cerrada entre las dos carcasas, en la que se coloca y se fija el implante prefabricado 14.

- 10 La siguiente etapa consiste en conectar una entrada 21 para material de relleno líquido de la cavidad 22b en una parte inferior de la pala 5. Además, una salida 23 para material de relleno líquido de la cavidad 22b está conectada a la parte superior de la cavidad definida y cerrada 13.

Posteriormente, la cavidad cerrada 13 se llena entonces con un material de relleno líquido de la cavidad 22b, tal como se ilustra esquemáticamente en la figura 8, por ejemplo, relleno con un material de poliuretano no expansible.

- 15 La figura 8 ilustra esquemáticamente una vista en sección transversal del extremo de punta de pala 10 de una pala de rotor de turbina eólica 5 de acuerdo con una realización preferida de la presente invención.

Para el propósito de llenado de la cavidad cerrada 13, la entrada 21 para un material de relleno líquido de la cavidad 22b se coloca en la parte inferior de la cavidad cerrada 13 y la salida 23 para un material de relleno líquido de la cavidad 22b se coloca en la parte superior de la cavidad cerrada 13.

- 20 Una bomba 24 o medios similares se utilizan para inyectar el material de relleno líquido de la cavidad 22b desde un depósito 25 a través de la entrada inferior 21, expulsando así el aire de la cavidad cerrada 13 a través de la salida superior 23, hasta que la cavidad 13 se llena completamente con el material de relleno líquido de la cavidad 22b y sustancialmente todo el aire es expulsado de la cavidad definida 13.

- 25 Después de que la cavidad definida 13 se rellena con el material de relleno líquido de la cavidad 22b, se puede aplicar calor a la superficie exterior de la punta de la pala 10 hasta que el material de relleno líquido de la cavidad 22b dentro de la cavidad definida 13 se endurece. Finalmente, la entrada 21 y la salida 23 se eliminan y el acabado final se aplica a la superficie de la punta 10.

- 30 Otros materiales para la cavidad pueden ser utilizados como gas inerte bajo presión, por ejemplo, hexafluoruro de azufre (SF_6). Además, el campo eléctrico soportado entre la base receptora de rayos 11 y la superficie interior 18 de la pala del rotor 5, se puede aumentar mediante la evacuación del aire en la cavidad cerrada 13 y creando así un vacío en la cavidad cerrada. Ventajosamente, el vacío en la cavidad cerrada 13 se mantiene mediante una bomba de aire o un dispositivo similar para evacuar el aire de la cavidad cerrada a una presión inferior a 2×10^{-3} Pa.

- 35 Alternativamente, la pala del rotor de la turbina eólica de acuerdo con la presente invención puede fabricarse en dos partes con una punta de la pala separada que comprende la base receptora de rayos y al menos un receptor de rayos dispuesto en la superficie de la punta de la pala.

La punta de la pala separada se puede fabricar en una variedad de formas diferentes, por ejemplo, con un implante y una cavidad cerrada que está rellena de materiales tal como se mencionó anteriormente.

- 40 La invención se ha ejemplificado anteriormente con referencia a ejemplos específicos de un sistema de protección contra rayos para una turbina eólica. Sin embargo, debe entenderse que la invención no se limita a los ejemplos particulares descritos más arriba, sino que puede ser diseñada y modificada de una multitud de variedades dentro del alcance de la invención tal como se especifica en las reivindicaciones.

Lista de referencias

En los dibujos los siguientes números de referencia se refieren a:

1. Turbina eólica
- 45 2. Torre de la turbina eólica
3. Góndola de la turbina eólica
4. Buje del rotor de la turbina eólica

- 5. Pala del rotor de la turbina eólica
- 6a. Rayo
- 6b. Arco interno dentro de la pala de rotor de la turbina eólica
- 7. Receptor de rayos de la pala de la turbina eólica
- 5 8. Conductor inferior de rayos
- 9. Conexión a tierra
- 10. Punta de la pala
- 11. Base receptora de rayos
- 12. Barrera interior que define una cavidad dentro de la punta de la pala
- 10 13. Cavidad cerrada definida dentro de la punta de la pala
- 14. Implante para posicionar la base receptora de rayos
- 15. Elevaciones para posicionar el implante en la punta de la pala
- 16. Parte de barrera del implante
- 17. Cubierta de un material eléctricamente aislante
- 15 18. Superficie interior de la pala de la turbina eólica
- 19. Primera carcasa de la pala
- 20. Segunda carcasa de la pala
- 21. Entrada de material líquido de relleno de la cavidad
- 22a. Material de relleno de la cavidad
- 20 22b. Material de relleno líquido de la cavidad
- 23. Salida para el aire y el material de relleno líquido de la cavidad
- 24. Bomba para el bombeo de un material líquido de relleno de la cavidad en la cavidad cerrada
- 25. Depósito para un material de relleno líquido de la cavidad
- 26. Aberturas laterales en el implante
- 25 L_{11} . Primera distancia interna entre el conductor inferior o la base receptora de rayos y el interior del extremo distal de la punta de la pala
- L_{12} . Segunda distancia interna entre la barrera interna y el interior del extremo distal de la punta de la pala
- L_{ex} . Distancia externa entre el receptor de rayos y el extremo distal de la punta de la pala

REIVINDICACIONES

1. Pala de rotor (5) de turbina eólica, que comprende una punta de la pala (10) y un sistema de protección contra rayos, incluyendo dicha pala
- 5 al menos un receptor de rayos (7) en la superficie de la pala a una distancia externa (L_{ex}) del extremo distal de la punta de la pala (10), y
- una base receptora de rayos (11) dentro de la pala del rotor (5) dispuesta a una primera distancia interna (L_{i1}) del extremo distal de la punta de la pala (10),
- caracterizada porque
- 10 dicha pala del rotor comprende una barrera interna (12) colocada dentro de la pala (5), en la que la punta de la pala (10) y la barrera establecen una cavidad definida (13) dentro de la pala, y en la que la barrera se establece a una segunda distancia interna (L_{i2}) del extremo distal de la punta de la pala,
- en la que la primera distancia interna es menor que la segunda distancia interna,
- en la que la base receptora de rayos (11) está acoplada al por lo menos un receptor de rayos y está encerrada en la cavidad definida, y
- 15 en la que al menos una porción de la cavidad se rellena con medios que tienen una resistencia dieléctrica que es sustancialmente mayor que el aire ambiental.
2. Pala de rotor (5) de turbina eólica según la reivindicación 1, caracterizada porque dicha base receptora de rayos (11) está integrada en un implante (14) hecho, por ejemplo, en materiales plásticos o compuestos.
3. Pala de rotor (5) de turbina eólica según la reivindicación 2, caracterizada porque dicho implante (14) está prefabricado con dicha base receptora de rayos (11) y medios para conectar a uno o más receptores de rayos (7) y un conductor inferior de rayos (8).
- 20 4. Pala de rotor (5) de turbina eólica según la reivindicación 2 ó 3, caracterizada porque dicho implante (14) comprende una forma que corresponde sustancialmente a la parte interna de la punta de la pala, por ejemplo, una forma de aleta de tiburón y con aberturas laterales (26) para el contacto entre dicha base receptora de rayos (11) y dichos receptores (7).
- 25 5. Palas de rotor (5) de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizada porque dicha segunda distancia interna (L_{i2}) está en el intervalo entre 0,1 y 2,0 metros, por ejemplo, entre 0,2 metros a 0,6 metros del extremo distal de la pala del rotor (5) de la turbina eólica.
6. Pala de rotor (5) de turbina eólica según la reivindicación 1, caracterizada porque dicho material de relleno de la cavidad (22a) tiene una resistencia dieléctrica mayor de 1×10^7 Voltios/metro, por ejemplo en el intervalo de 2×10^7 Voltios/metro a 8×10^7 Voltios/metro.
- 30 7. Pala de rotor (5) de turbina eólica según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque dichos medios (22a) para aumentar el campo eléctrico soportado es un material de poliuretano, por ejemplo, un material de poliuretano no expansible de dos componentes.
8. Turbina eólica con un sistema de protección contra rayos y al menos una pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
- 35 9. Procedimiento para la fabricación de una pala de rotor (5) de turbina eólica según la reivindicación 1, en el que dicho procedimiento comprende las etapas de:
- establecer al menos dos carcasas de pala (19, 20) que encierran una cavidad definida,
- colocar una base receptora de rayos (11) con una conexión a un conductor inferior de rayos (8) en una carcasa de la pala,
- 40 establecer contacto entre al menos un receptor de rayos (7) en la superficie de la pala a una distancia externa (L_{ex}) desde el extremo distal de la punta de la pala (10) y la base receptora de rayos (11) y entre dichas al menos dos carcasas de la pala (19, 20), y
- rellenar al menos una porción de la cavidad con medios que tienen una resistencia dieléctrica que es sustancialmente mayor que el aire ambiental, cambiando así al menos una propiedad eléctrica de la pala del rotor (5) en la base receptora de rayos (11), en comparación con las propiedades eléctricas de aire ambiental.
- 45 10. Procedimiento para la fabricación de una pala de rotor (5) de turbina eólica según la reivindicación 9, en el que la base

receptora de rayos (11) y el conductor inferior de rayos (8) están integrados y conectados en un implante prefabricado (14).

5 11. Procedimiento para la fabricación de una pala de rotor (5) de turbina eólica según la reivindicación 10, en el que dicho implante prefabricado (14) está adaptado a una superficie interior de la pala (18) mediante elevaciones (15) del implante (14).

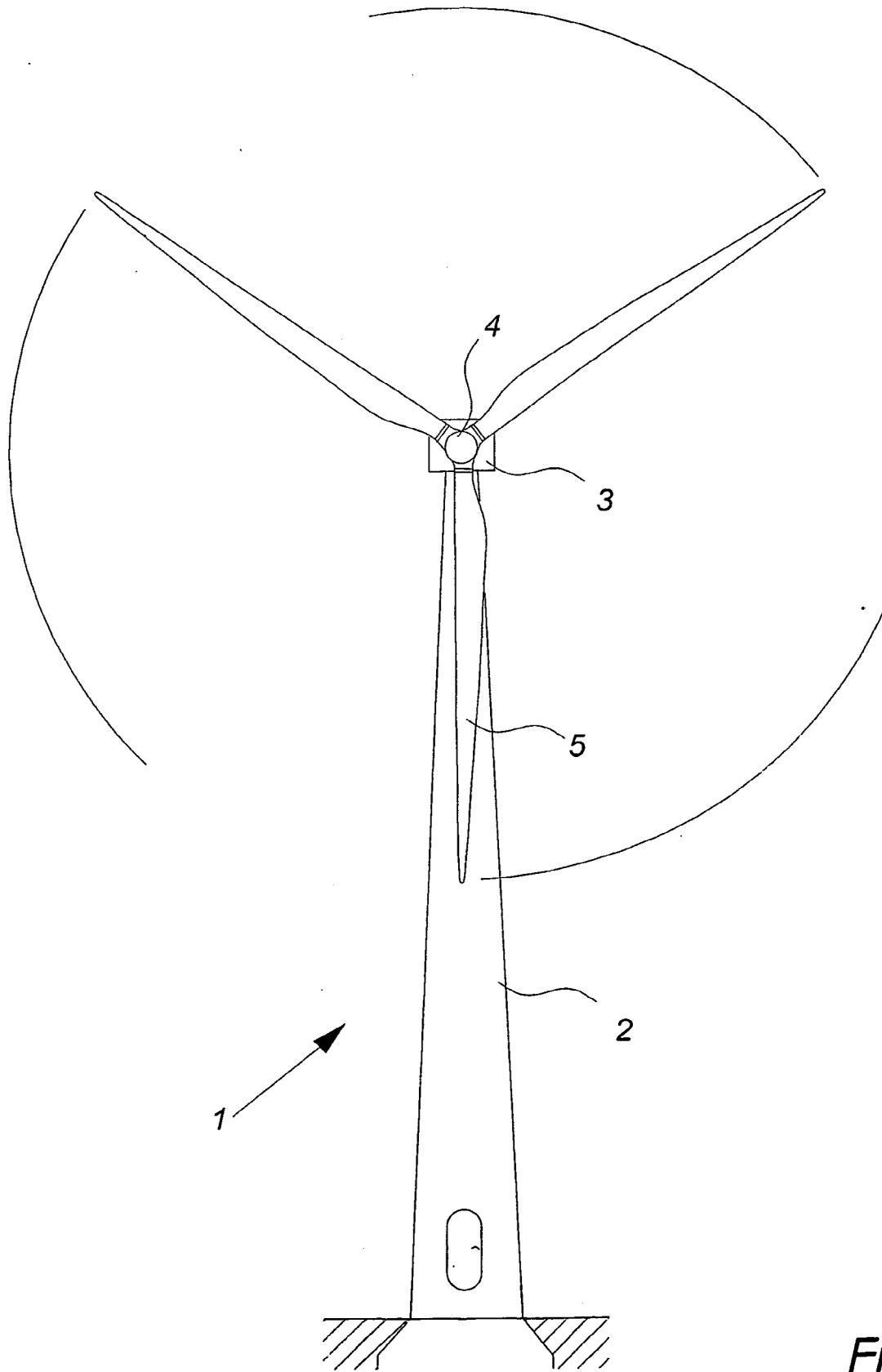


Fig. 1

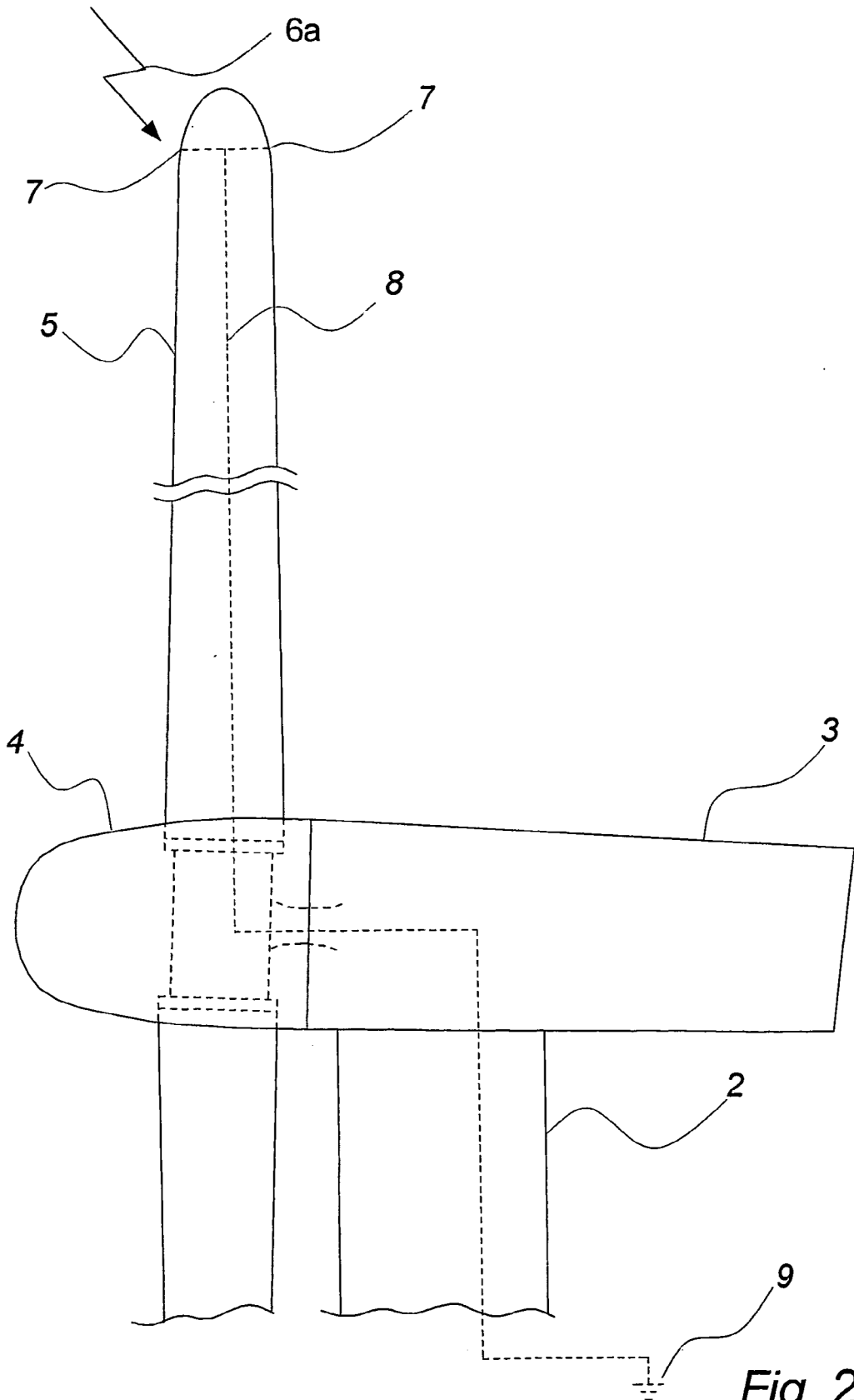
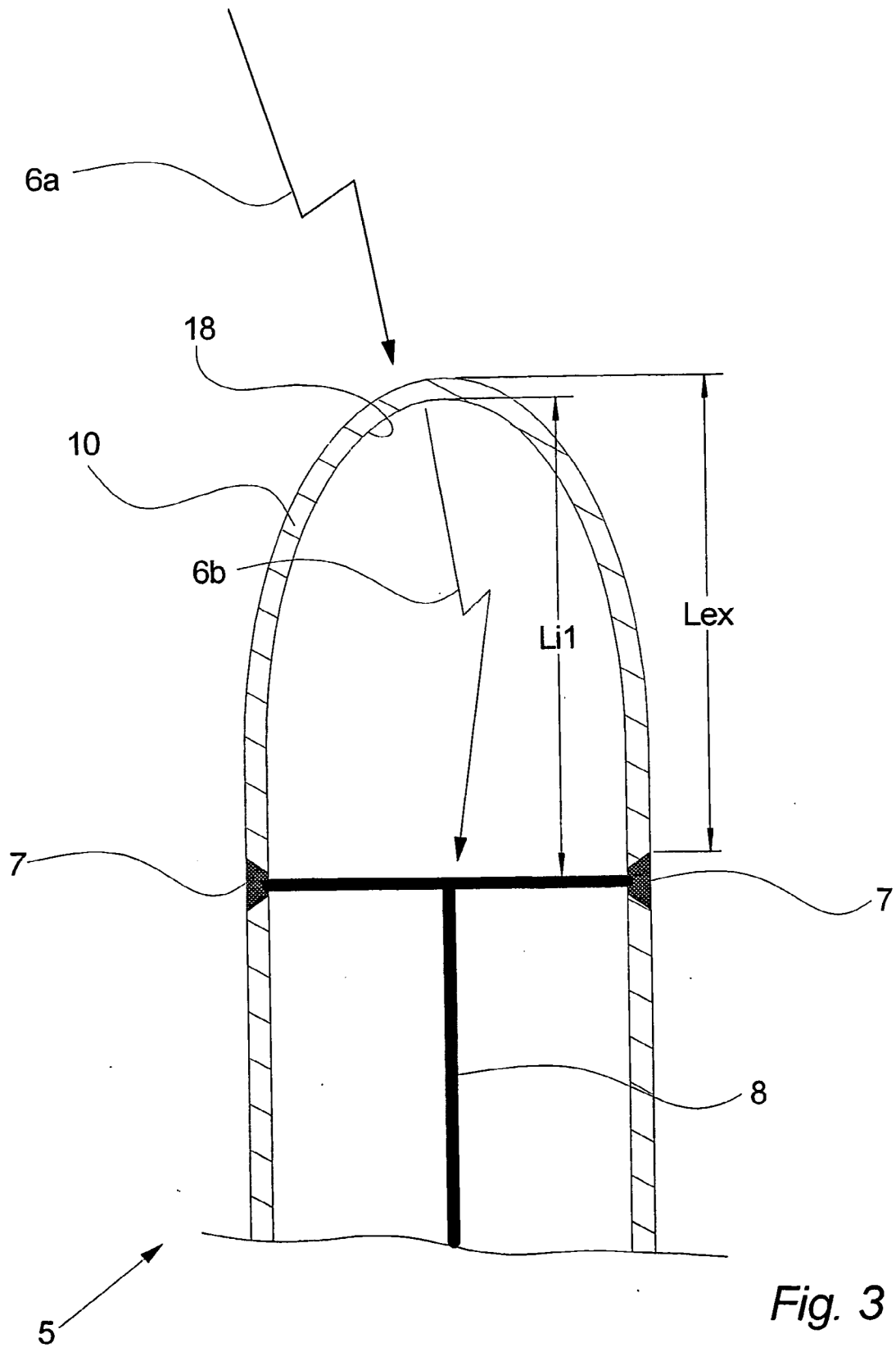


Fig. 2



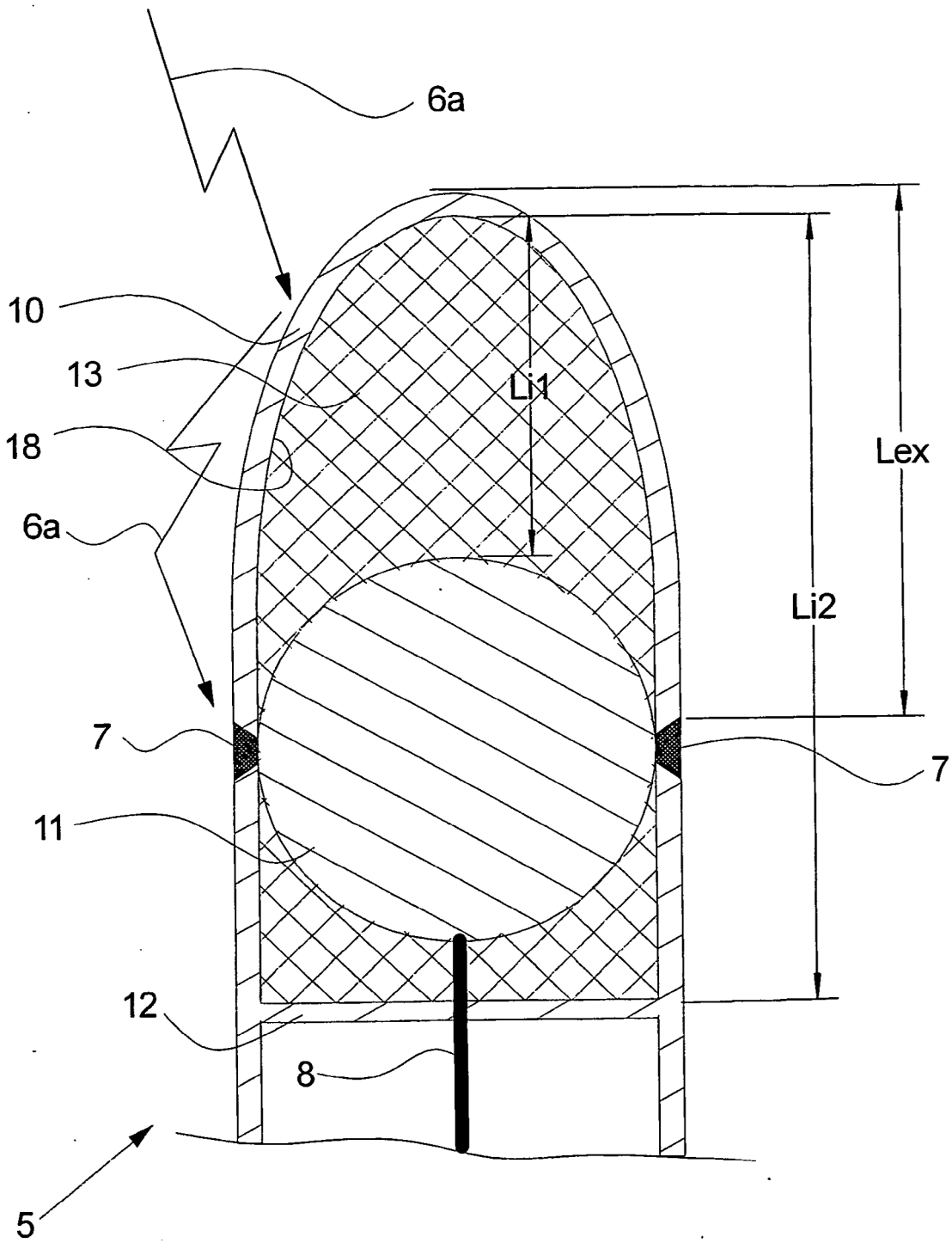


Fig. 4a

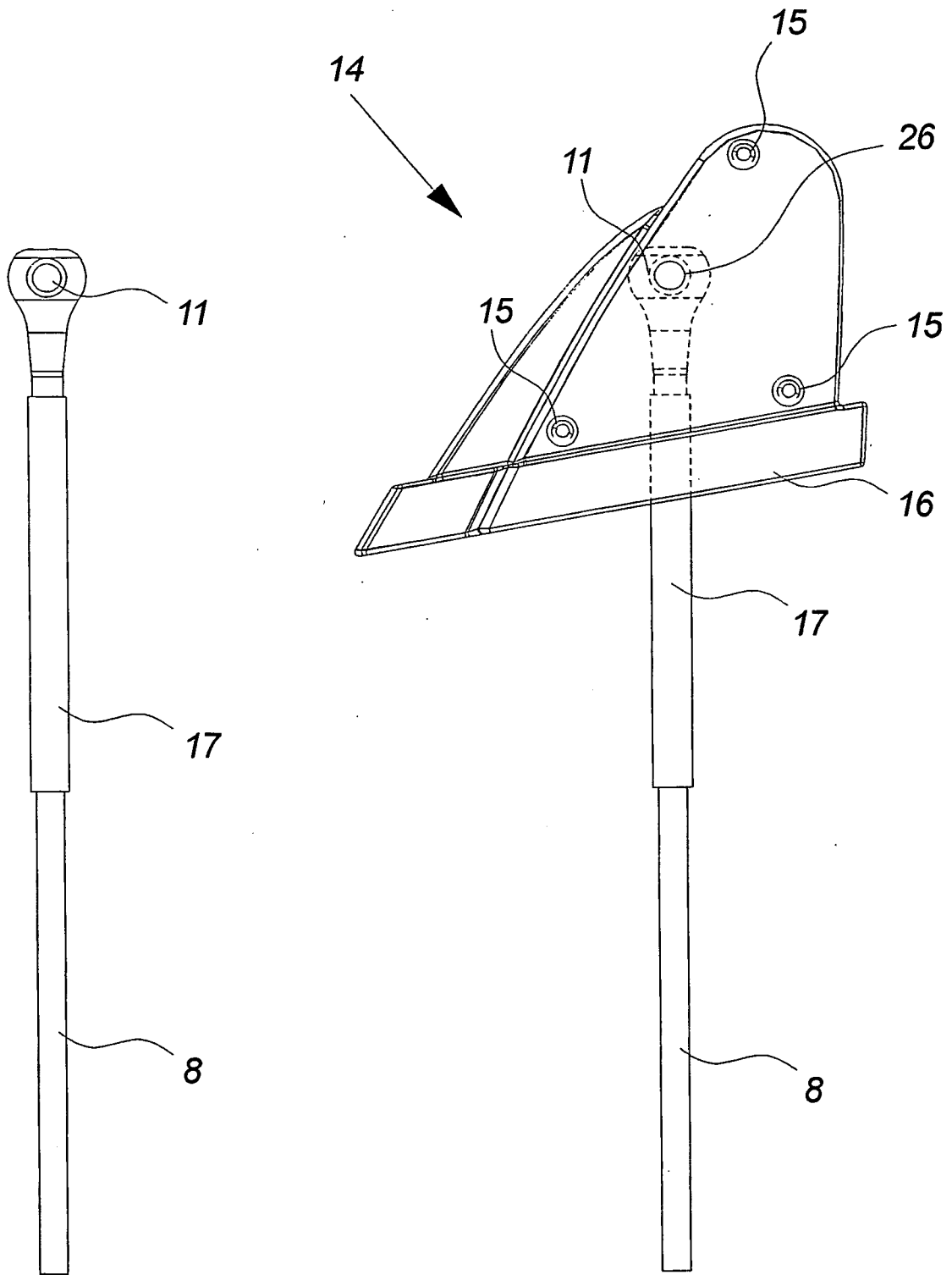


Fig. 5a

Fig. 5b

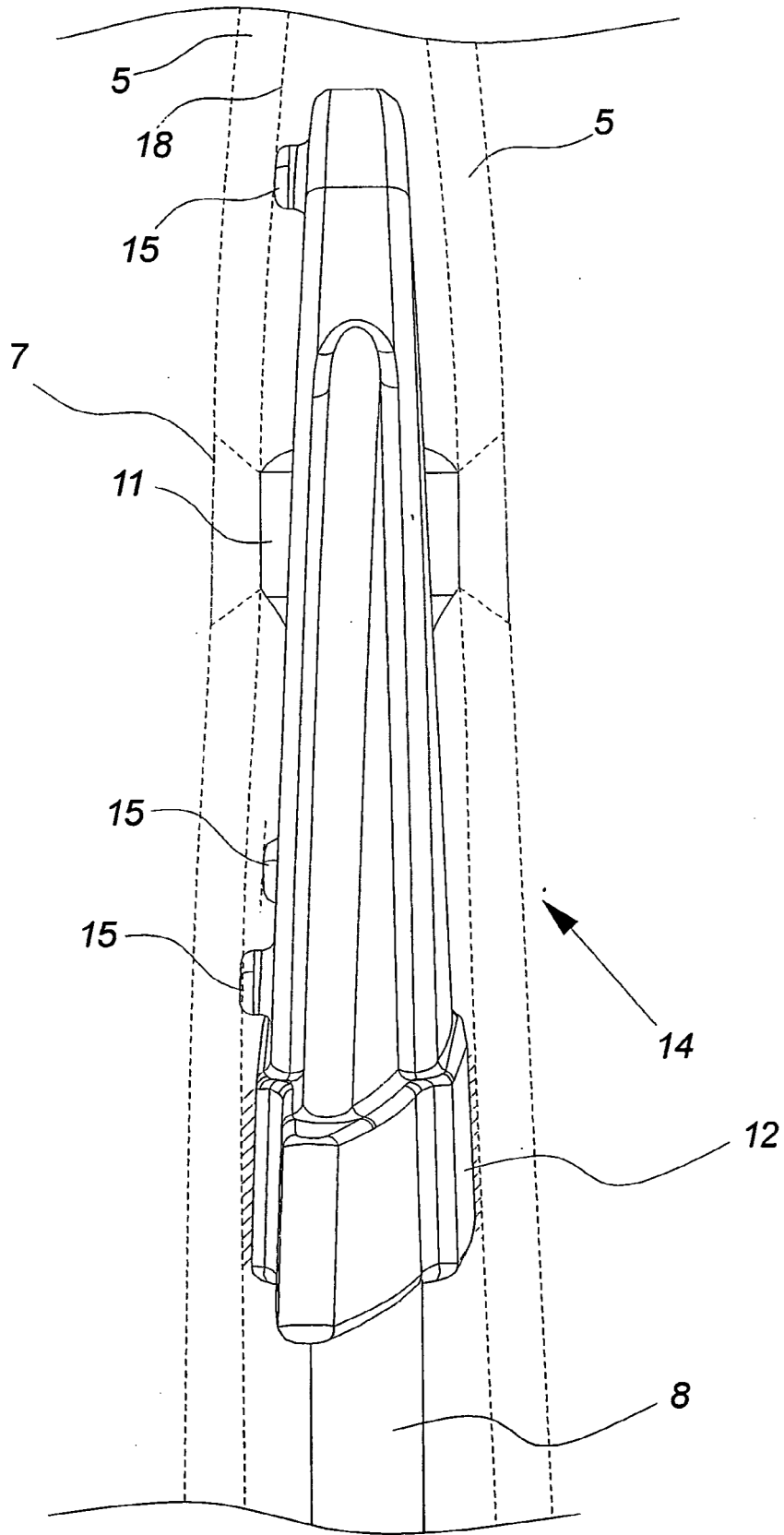


Fig. 6

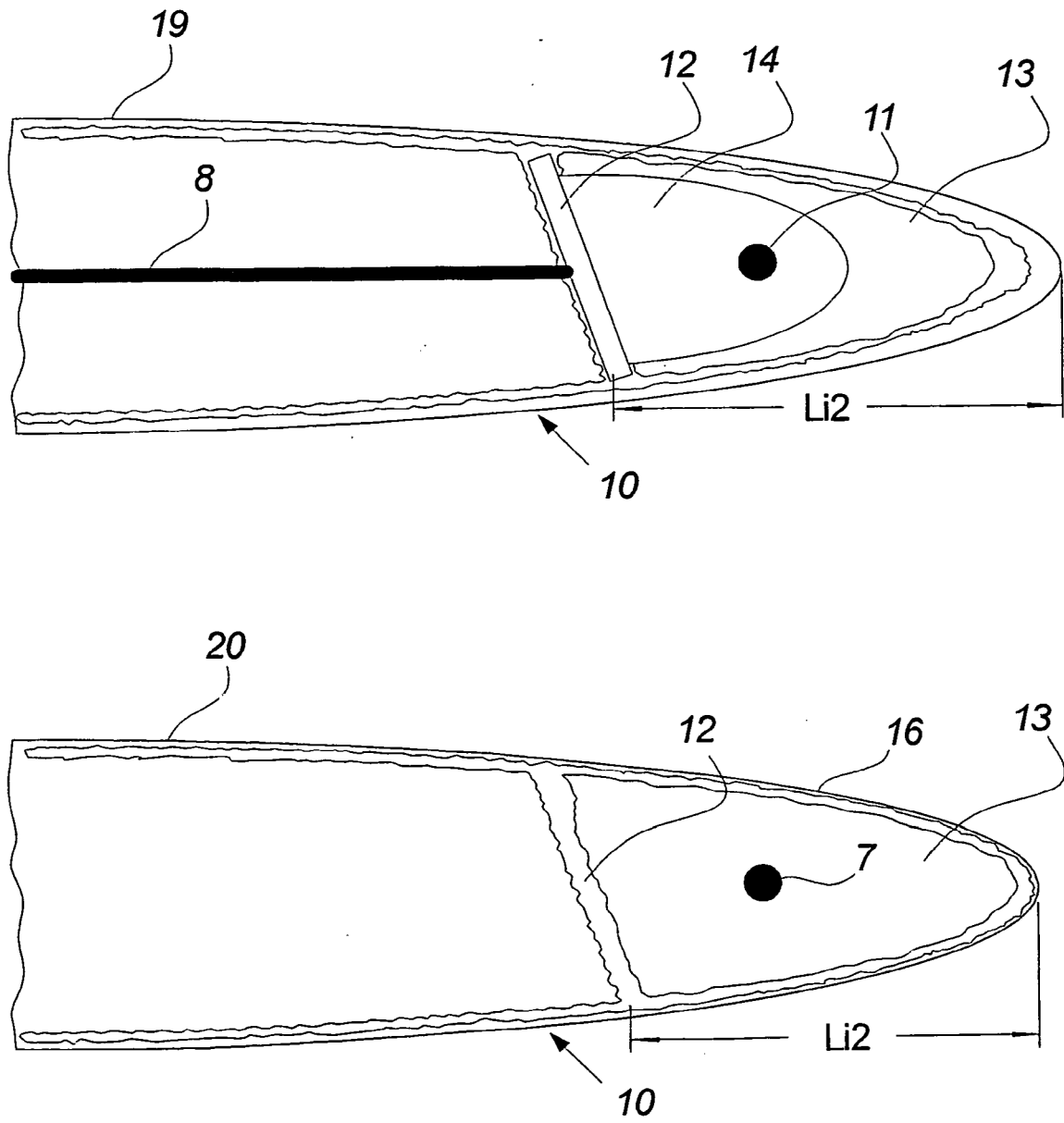


Fig. 7

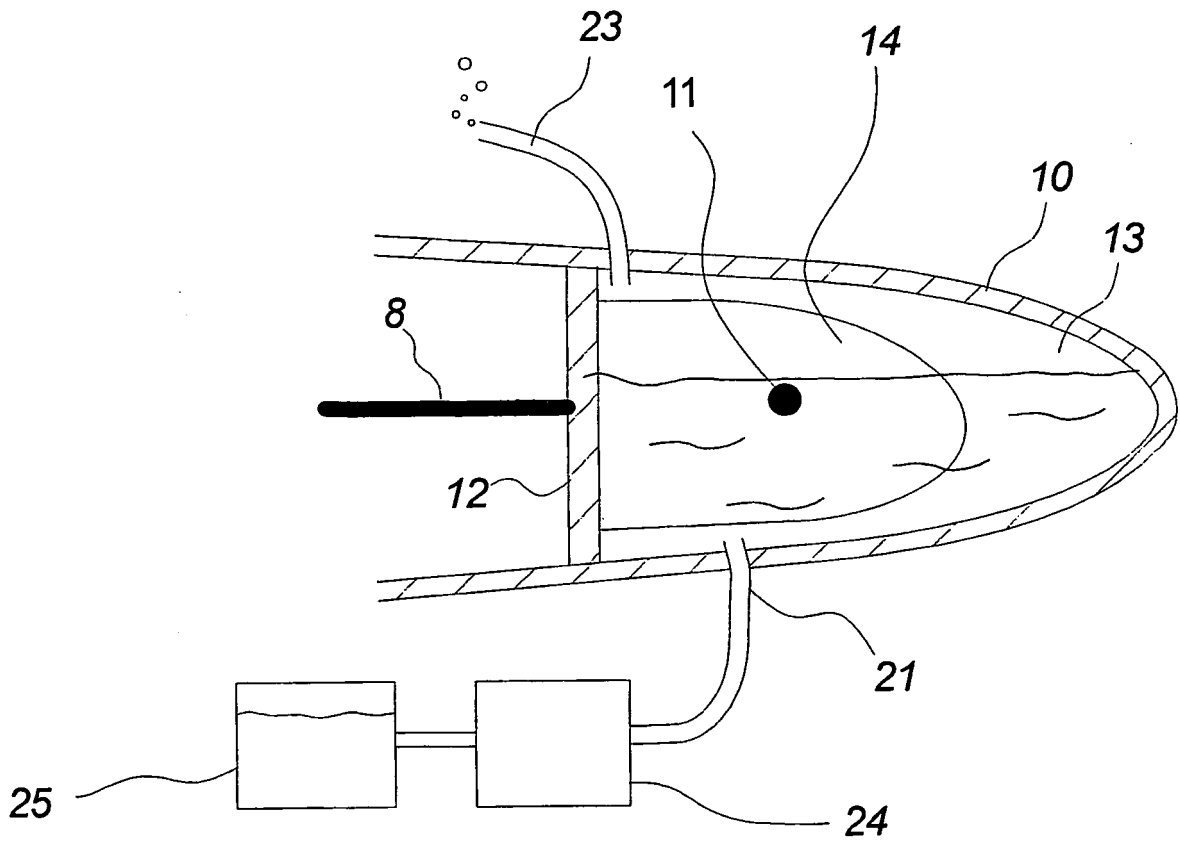


Fig. 8