

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 821 152**

51 Int. Cl.:

H02G 11/00 (2006.01)

H01B 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.10.2015** **PCT/EP2015/074296**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.04.2016** **WO16062735**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2015** **E 15784346 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.08.2020** **EP 3210269**

54 Título: **Amarre de transmisión de energía eléctrica para una estación de potencia eólica aerotransportada**

30 Prioridad:

21.10.2014 EP 14189788

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

23.04.2021

73 Titular/es:

SWISS INVENTIX GMBH (100.0%)

Hauptstrasse 48

4654 Lostorf, CH

72 Inventor/es:

NEUHOLD, STEFAN

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 821 152 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

Amarre de transmisión de energía eléctrica para una estación de potencia eólica aerotransportada

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un amarre de transmisión de energía eléctrica para una estación de potencia eólica aerotransportada. El amarre de transmisión de energía eléctrica sirve para transmitir energía eléctrica desde una estación de potencia eólica aerotransportada a una estación terrestre y para absorber las fuerzas de tracción causadas por la estación de potencia eólica aerotransportada durante el funcionamiento. La presente invención también se refiere a una unidad de amarre que comprende tal amarre de transmisión de energía eléctrica y un tambor para enrollar el amarre, y la invención además se refiere a una unidad de potencia con una estación de potencia eólica aerotransportada, una estación terrestre y tal amarre de transmisión de energía eléctrica para conectar la estación de potencia eólica a la estación terrestre.

Técnica anterior

Para la conversión de energía eólica en energía eléctrica, las estaciones de potencia eólica aerotransportadas son conocidas y se están desarrollando cada vez más. Las estaciones de potencia eólica aerotransportadas comprenden uno o más generadores eléctricos montados en un objeto volador que normalmente tiene una construcción similar a un avión. Los generadores equipados con impulsores son accionados por el viento y por maniobras de vuelo especiales, con el fin de producir energía eléctrica. La energía eléctrica se transfiere al suelo por medio de amarres que conectan la estación de potencia eólica aerotransportada a una estación terrestre. Por tanto, los amarres sirven parcialmente para controlar los movimientos de vuelo de la estación de potencia eólica aerotransportada y para transmitir energía eléctrica desde los generadores al suelo. Para llevar la estación de potencia eólica aerotransportada desde la estación terrestre a una posición óptima en el aire para la producción de energía o para recuperarla desde una posición en el aire de regreso a la estación terrestre, los generadores eléctricos se pueden utilizar como motores eléctricos. En estas fases de inicio y recuperación del funcionamiento, por tanto, la energía eléctrica se alimenta desde la estación terrestre a la estación de potencia eólica aerotransportada por medio de uno o más amarres.

Debido a los vientos fuertes y a menudo cambiantes y durante ciertas maniobras de vuelo, los amarres están expuestos a un alto estrés de tracción mecánica con amplitud variable. Los amarres pueden mostrar una elongación significativa de más del 1 % de su longitud original en condiciones de carga elevada. El material de los conductores eléctricos, tal como cobre, que está presente dentro de los amarres, sin embargo, muestra un rango elástico muy bajo de aproximadamente 0,1 %. Por lo tanto, incluso en caso de elongaciones relativamente pequeñas, los conductores eléctricos convencionales se deformarán plásticamente e irreversiblemente. Después de una disminución posterior de la tracción axial de los amarres, los conductores eléctricos deformados tienden a pandearse y romperse.

Los amarres también están sometidos a estrés mecánico, cuando se enrollan en un tambor en la estación terrestre durante la fase de recuperación. Doblar un amarre en la superficie externa periférica de un tambor provoca compresión en las partes del amarre que miran hacia el centro del tambor y tensión en las partes que miran radialmente hacia fuera. Por consiguiente, el estrés mecánico provocado por enrollar el amarre sobre un tambor también puede conducir a la deformación plástica de los conductores eléctricos que se proporcionan dentro del amarre.

En el documento US 2012/0070122 A1 se muestra un amarre para acoplar física y eléctricamente una estación de potencia eólica aerotransportada al suelo. El amarre comprende un núcleo de alta resistencia alrededor del cual los conductores eléctricos se enrollan helicoidalmente. Esta construcción, sin embargo, da como resultado que un amarre sea relativamente grueso y pesado. Por consiguiente, es probable que el peso y la resistencia al viento del amarre influyan en las características de vuelo de la estación de potencia eólica aerotransportada y, por lo tanto, reducen especialmente la eficacia general de producción de potencia. Además, una construcción gruesa y pesada del amarre conduce a un mayor peso sobre el tambor del amarre, lo que da como resultado un aumento de la inercia y, por lo tanto, una regulación de tracción más lenta. Otros inconvenientes son los mayores costes de transporte, así como una construcción más costosa y más espaciosa de la estación terrestre. Adicionalmente, cuando se enrolla sobre un tambor, los conductores que se encuentran sobre el exterior del núcleo de alta resistencia están insuficientemente protegidos contra las fuerzas de compresión radiales que conducirán a la deformación plástica y a la falla. Las altas fuerzas de compresión radial entre el núcleo y la superficie del tambor no solo pueden deberse a la flexión del amarre alrededor del tambor, sino también, debido a las altas fuerzas de tracción que actúan sobre el amarre debido a condiciones de viento fuerte o maniobras de vuelo especiales.

En el documento WO 2009/049616 A2, se divulga un cable en el que se trenza una cuerda de fibra química alrededor de dos capas de conductores eléctricos mutuamente aisladas. La cuerda de fibra química sirve para proteger el cable contra las fuerzas de tracción y las fuerzas de compresión radial. Sin embargo, cuando se devana sobre un tambor, todavía ocurre una deformación significativa del área de la sección transversal del cable hacia una forma ovalada debido a las elevadas fuerzas radiales. Asimismo, el elevado número de cambios de carga axial en la

aplicación de las estaciones de potencia eólica aerotransportadas conduce a una vida útil del cable significativamente más corta. Debido a estas razones, es necesario implementar medidas adicionales contra las fuerzas de compresión radial, con el fin de lograr una vida útil suficiente a la fatiga.

- 5 Otros cables de transmisión de energía eléctrica que son tanto elásticos como capaces de resistir fuerzas de tracción hasta cierto punto se divulgan en los documentos US 4.116.153, US 4.975.543, US 2.759.990 y US 4.514.058.

- 10 El documento US 2014/0262428 A1 divulga un amarre eléctrico en donde las fuerzas de tracción son absorbidas por el núcleo del amarre. Un cable de remolque de aeronave se divulga en el documento US 5.042.903 A. El cable comprende un núcleo en forma de cable de fibra óptica encapsulado en una funda de acero. Dos capas hechas de hilos de Kevlar enrollados contrahelicoidalmente están dispuestas radialmente hacia fuera de tres capas de conductores eléctricos que están separados entre sí por capas de aislamiento eléctrico.

- 15 El documento WO 2012/013659 A1 divulga un amarre para sistemas de energía renovable. El amarre comprende hebras con fibras de alta resistencia y con conductores.

Sumario de la invención

- 20 Es un objeto de la presente invención proporcionar un amarre de transmisión de energía eléctrica para una estación de potencia eólica aerotransportada, que no solo es capaz de resistir altas fuerzas de tracción y tiene una construcción ligera, sino que también está bien protegida contra fuerzas radiales externas. Este objeto se resuelve mediante un amarre de transmisión de energía eléctrica según lo reivindicado en la reivindicación 1. En la reivindicación 13, se indica una unidad de amarre que comprende tal amarre de transmisión de energía eléctrica y un tambor. Adicionalmente, la reivindicación 15 proporciona una unidad de potencia que tiene una estación de potencia eólica aerotransportada, una estación terrestre y tal amarre de transmisión de energía eléctrica. Otras realizaciones de la invención se proporcionan en las reivindicaciones dependientes 2 a 12 y 14.

La presente invención proporciona un amarre de transmisión de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 1.

- 30 El amarre sirve para acoplar la estación de potencia eólica aerotransportada al suelo tanto física como eléctricamente. En otras palabras, el amarre está adaptado para resistir las fuerzas de tracción provocadas por el viento que actúa sobre la estación de potencia eólica aerotransportada, así como para transmitir energía eléctrica desde la estación de potencia eólica al suelo y, preferentemente, viceversa.

- 35 La capa de soporte de carga sirve para absorber las fuerzas de tracción que actúan sobre el amarre y, debido a su rigidez a de tracción, limita la elongación axial del amarre inducida por fuertes vientos y maniobras de vuelo específicas de la estación de potencia eólica. La capa de soporte de carga define de este modo la elongación axial máxima del amarre bajo la carga de tracción máxima esperada. Al disponer la capa de soporte de carga tanto como sea posible radialmente fuera del amarre y particularmente, radialmente fuera de los conductores eléctricos, el área de la sección transversal de la capa de soporte de carga se maximiza debido a su gran longitud circunferencial. Dicho de otra manera, para lograr una cierta resistencia de tracción del amarre, el radio del amarre que adopta la capa de soporte de carga se puede minimizar con la disposición propuesta. Adicionalmente, las capas de los conductores eléctricos y del aislamiento pueden disponerse más cerca del eje central longitudinal del amarre, de tal manera que la longitud circunferencial de estas capas se minimice, lo que reduce aún más el peso del amarre. De este modo, el peso total y el diámetro del amarre se pueden optimizar disponiendo la capa de soporte de carga radialmente fuera de los conductores eléctricos. Al disponer los conductores eléctricos y la capa de aislamiento más cerca del eje central longitudinal, se reducen las fuerzas de tensión y compresión que actúan sobre ellos en el caso de que el amarre se doble. Ventajosamente, la capa de soporte de carga representa incluso la capa más externa del amarre, con la excepción de que posiblemente esté presente una capa adicional de protección contra el desgaste.
- 50 Debido a su disposición radialmente fuera de las capas conductoras eléctricas y de la capa de aislamiento, la capa de soporte de carga también protege estas capas de la compresión radial externa, por ejemplo, cuando el amarre se enrolla en un tambor y se tensa axialmente debido a fuertes vientos.

- 55 La estación de potencia eólica aerotransportada normalmente está diseñada como un objeto volador similar a un avión con una superficie aerodinámica sobre la que se une uno o más generadores eléctricos. Los generadores eléctricos se accionan mediante impulsores, con el fin de producir energía eléctrica. La energía eléctrica producida por los generadores puede estar en la parte baja (hasta 1 kV) o en la parte inferior del rango de tensión media (1 kV a 52 kV). Con el fin de ahorrar peso y disminuir el diámetro del amarre, el nivel de tensión puede, sin embargo, transformarse al rango medio (1 kV a 52 kV) o alta tensión (52 kV a 300 kV), especialmente, para una potencia eléctrica transferida superior a 1 MW. De este modo, el amarre se puede adaptar a estas tensiones en ciertas realizaciones. En lugar de una configuración en forma de avión, por supuesto, la estación de potencia eólica también podría diseñarse como un globo cautivo, un dirigible o como cualquier otro objeto volador.

- 65 El amarre comprende, además, una primera capa semiconductor dispuesta entre la primera capa de conductores eléctricos y la capa de aislamiento eléctrico y preferentemente también una segunda capa semiconductor dispuesta entre la capa de aislamiento eléctrico y la segunda capa de conductores eléctricos. Las capas semiconductoras, que

puede ser de polietileno semiconductor, por ejemplo, sirven para proporcionar una superficie bien definida y lisa a la capa de aislamiento, con el fin de lograr un campo eléctrico homogéneo entre las dos capas de conductores eléctricos. De este modo, las capas semiconductoras ayudan a superar los problemas de aislamiento eléctrico, particularmente, en los aparatos de media y alta tensión. Normalmente para estas aplicaciones, todo el sistema de aislamiento que comprende la capa semiconductor sobre el conductor, la capa de aislamiento eléctrico y la capa semiconductor de la capa de aislamiento eléctrico se aplican en un proceso de coextrusión de 3 fases muy cerca. Por supuesto, también es posible la construcción de un amarre de transmisión eléctrica de media o alta tensión sin capas semiconductoras. Sin embargo, con el fin de lograr un campo eléctrico suficientemente homogéneo en tal caso sin capas semiconductoras, normalmente es necesario proporcionar una capa de aislamiento con un grosor relativamente grande. De este modo, la provisión de capas semiconductoras también ayuda a reducir el diámetro y el peso total del amarre.

La capa de soporte de carga comprende una capa resistente a la compresión para absorber las fuerzas de compresión radiales y una capa de armadura de tracción para absorber las fuerzas de tracción. De este modo, la capa de soporte de carga comprende dos subcapas, una de ellas específicamente adaptada para absorber fuerzas de compresión radiales y la otra específicamente adaptada para absorber fuerzas de tracción.

El núcleo elástico, la primera y segunda capas de conductores eléctricos, la capa de aislamiento y la capa de soporte de carga son preferentemente de sección transversal circular y normalmente tienen una forma y área constantes en sección transversal en toda la longitud del amarre. Preferentemente, cada una de las capas tiene una forma prácticamente cilíndrica y está dispuesta concéntricamente alrededor del eje central longitudinal del amarre. Ventajosamente, cada una de las capas ocupa un cierto rango radial bien definido a lo largo de la dirección radial del amarre. Los conductores eléctricos normalmente están realizados con alambres metálicos, en particular, alambres de cobre o alambres de aluminio.

Con el fin de lograr una alta rigidez de tracción y también una rigidez radial, la capa de soporte de carga se puede reforzar con elementos alargados, tales como fibras, que se enrollan preferentemente helicoidalmente alrededor de la capa más externa, es decir, por lo general la segunda, de conductores eléctricos. La capa de soporte de carga está hecha preferentemente de un material reforzado con fibra, particularmente, un material plástico reforzado con fibra, tal como un compuesto de matriz polimérica (PMC) o un polímero termoendurecible reforzado con fibra con, por ejemplo, un material de matriz de resina epoxi. También resina epoxi con adición de caucho, por ejemplo, se puede utilizar material de matriz de resina epoxi modificada con copolímero aleatorio de butadieno-acrilonitrilo terminado en carboxilo (CTBN) para mejorar la flexibilidad del material compuesto de fibra. Las fibras pueden ser, por ejemplo, fibras de carbono, fibras de vidrio o fibras de aramida, posiblemente con una resina epoxi o un material de matriz termoplástico, y se puede disponer en paralelo al eje central longitudinal del amarre o enrollar helicoidalmente alrededor de la parte más externa, es decir, normalmente, la segunda capa de conductores eléctricos. Una disposición inclinada de las fibras con respecto al eje central longitudinal del amarre y, particularmente, un enrollamiento helicoidal contribuye a la rigidez radial de la capa de soporte de carga. Si las restricciones de peso permiten un peso mayor, también, por ejemplo, se puede usar acero de alta resistencia para los elementos alargados de la capa de soporte de carga junto con, por ejemplo, una matriz de elastómero. La capa de soporte de carga se puede diseñar de diferentes maneras dependiendo de los requisitos específicos de la aplicación.

Por ejemplo, un peso ligero, diseño relativamente rígido de la capa de soporte de carga con buena resistencia a la compresión radial, que es especialmente adecuado para pequeños diámetros del amarre, se puede lograr de manera que las fibras se enrollen helicoidalmente alrededor de la parte más externa, normalmente, la segunda capa de conductores eléctricos. Puede haber dos o varias capas con orientación de fibra unidireccional del mismo ángulo de inclinación helicoidal en cada capa, pero enrolladas en direcciones opuestas. Para una mayor rigidez de tracción, se pueden, por ejemplo, trenzar. El trenzado de las fibras puede ser biaxial o triaxial. Se pueden aplicar trenzas con diferentes ángulos de inclinación helicoidal de las fibras en capas posteriores para optimizar las propiedades mecánicas de la capa de soporte de carga. Cuando se inclinan con respecto al eje central longitudinal y particularmente cuando se enrollan helicoidalmente, los ángulos de inclinación de las fibras con respecto al eje central longitudinal están preferentemente entre 35° y 90°, más preferentemente entre 45° y 75° (y/o entre -35° y -90°, más preferentemente entre -45° y -75° en el caso de una capa enrollada en una dirección opuesta), con el fin de lograr una buena protección contra la compresión radial. Por supuesto, también se pueden aplicar combinaciones de estas técnicas de colocación y/o varias capas de fibra con diferentes ángulos de inclinación. El material de la matriz puede ser, por ejemplo, polietileno (PE), sulfuro de polifenileno (PPS) o polieterecetona (PEEK); por supuesto, también se puede utilizar resina epoxi como material de matriz. Con el fin de ahorrar peso, la capa de soporte de carga es ventajosamente no metálica.

Para lograr una capa de soporte de carga con una rigidez a la flexión menor que la indicada anteriormente, lo que permite, por ejemplo, un diámetro de tambor más pequeño, la capa de soporte de carga también se puede implementar en forma de dos capas concéntricas de elementos de armadura de tracción dispuestos circularmente. Estos elementos de armadura de tracción están preferentemente dispuestos helicoidalmente alrededor del eje central longitudinal del amarre con un ángulo de inclinación en el intervalo de +/-65° a +/-85°. Pueden estar hechos de un material compuesto, por ejemplo, de alambres de fibra de carbono extrusionados con resina epoxi o material

de matriz termoplástica o, si las restricciones de peso permiten un peso mayor, también de, por ejemplo, acero de alta resistencia. En lugar de elementos de armadura de tracción, se pueden utilizar perfiles de armadura de tracción con un factor de llenado más alto que los elementos de armadura de tracción. Los perfiles de armadura de tracción están también dispuestos preferentemente alrededor del eje central longitudinal del amarre con un ángulo de inclinación en el intervalo de $\pm 65^\circ$ a $\pm 85^\circ$.

Bajo esfuerzo axial del amarre, los elementos de armadura de tracción aplicados helicoidalmente normalmente inducirán una fuerza de compresión en las partes internas del amarre. Por lo tanto, una capa amortiguadora elástica que consisten en un material blando, por ejemplo, elastómero de silicona, se puede proporcionar caucho despolimerizado o poliuretano, con el fin de homogeneizar las fuerzas de compresión radiales que actúan sobre la capa conductora eléctrica más externa. Esto ayudará a evitar la deformación plástica y el peligro de pandeo y rotura de los alambres eléctricos en la capa del conductor eléctrico.

La capa de soporte de carga también se puede implementar en forma de dos capas de capa compuesta de armadura de tracción. Ventajosamente, una capa compuesta de armadura de tracción está hecha de un material compuesto con orientación de fibra unidireccional. Preferentemente, las fibras están dispuestas helicoidalmente alrededor del eje longitudinal del amarre con un ángulo de inclinación en el intervalo de $\pm 65^\circ$ a $\pm 85^\circ$. El cambio de dirección de enrollamiento de una capa a otra, por ejemplo, las fibras de una capa se enrollan en el sentido de las agujas del reloj y las fibras de la otra capa se enrollan en el sentido contrario a las agujas del reloj, ayuda a equilibrar mecánicamente el comportamiento torsional del amarre bajo esfuerzo axial. Entre las dos capas de armadura de tracción, se puede proporcionar una capa de deslizamiento/antifricción. Por supuesto, se pueden proporcionar múltiples capas de elementos de armadura de tracción o perfiles de armadura de tracción o capas compuestas de armadura de tracción dependiendo de los requisitos de carga axial del amarre.

Con el fin de lograr una capacidad de transmisión de potencia eléctrica suficiente en el caso de una estación de potencia eólica aerotransportada muy grande, se requiere un gran diámetro del amarre. Con el enfoque descrito anteriormente, el aumento de las fuerzas axiales que actúan sobre el amarre, que resultan en un aumento de las fuerzas de compresión radial, puede conducir a una mayor degradación de los conductores eléctricos. Para optimizar los límites del radio de curvatura hacia los requisitos de carga de tracción alta junto con la protección del sistema eléctrico contra fuerzas de compresión radial altas, la capa de soporte de carga también se puede proporcionar con una capa resistente a la compresión junto con una capa deslizante/antifricción y una capa de armadura de tracción.

La capa resistente a la compresión puede estar hecha de un material conductor de electricidad, tal como un metal, con el fin de transportar corriente eléctrica como parte adicional del sistema eléctrico y/o para actuar también como capa de protección contra relámpagos. Por supuesto, la capa resistente a la compresión también puede estar hecha de un material eléctricamente no conductor.

La capa resistente a la compresión se puede implementar en forma de una carcasa resistente a la compresión entrelazada en forma de S. Los elementos alargados individuales con el perfil en forma de S utilizados en la capa resistente a la compresión entrelazada en forma de S están dispuestos preferentemente de forma helicoidal alrededor del eje longitudinal del amarre 3 con un ángulo de inclinación en el intervalo de 1° a 20° , más preferentemente, en el intervalo de 5° a 10° . La capa resistente a la compresión también se puede hacer, por ejemplo, de elementos helicoidalmente en forma de Z, en forma de T, inclinados o planos alargados axiales alargados. Pueden estar hechos de un material compuesto, por ejemplo, de fibra de carbono extraída o, si las restricciones de peso permiten un peso mayor, también de, por ejemplo, acero de alta resistencia. La capa resistente a la compresión también puede estar hecha de un material compuesto con orientación de fibra unidireccional. Preferentemente, las fibras están dispuestas helicoidalmente alrededor del eje longitudinal del amarre 3 con un ángulo de inclinación en el intervalo de 1° a 20° , más preferentemente de 5° a 10° . La capa resistente a la compresión compuesta puede, por ejemplo, estar hecha de fibras de carbono, vidrio o aramida en una resina epoxi o matriz termoplástica.

Entre la capa de soporte de carga y el sistema eléctrico se proporciona preferentemente una capa de deslizamiento/antifricción. También entre la capa de soporte de carga y la capa de protección contra el desgaste se puede proporcionar una capa de deslizamiento/antifricción. Estas capas de deslizamiento/antifricción ayudan a permitir un pequeño radio de flexión de todo el amarre 3 debido al estado no adherido de las diferentes capas. Las capas de deslizamiento/antifricción pueden consistir, por ejemplo, en un material termoplástico como nailon 11 (PA11) o fluoropolímeros como politetrafluoretileno (PTFE).

La capa de armadura de tracción puede implementarse en forma de dos capas de elementos de armadura de tracción dispuestos helicoidalmente separados entre sí por una capa de deslizamiento/antifricción. Estos elementos de armadura de tracción están preferentemente dispuestos helicoidalmente alrededor del eje central longitudinal del amarre 3 con un ángulo de inclinación en el intervalo de $\pm 35^\circ$ a $\pm 65^\circ$. Pueden estar hechos de un material compuesto, por ejemplo, alambres de fibra de carbono extraída o, si las restricciones de peso permiten un peso mayor, también de, por ejemplo, acero de alta resistencia.

El cambio de dirección de enrollamiento de una capa a otra, por ejemplo, las fibras de una capa se enrollan en el sentido de las agujas del reloj y las fibras de la otra capa se enrollan en el sentido contrario a las agujas del reloj ayuda a equilibrar mecánicamente el comportamiento torsional del amarre bajo esfuerzo axial. Entre las dos capas de armadura de tracción, se puede implementar una capa de deslizamiento/antifricción. De acuerdo con los requisitos de resistencia de tracción del amarre, pueden proporcionarse subcapas adicionales de elementos de armadura de tracción.

La capa de armadura de tracción también se puede proporcionar en forma de dos capas de capas compuestas de armadura de tracción que se pueden separar entre sí mediante una capa de deslizamiento/antifricción. Las capas compuestas de armadura de tracción están hechas preferentemente de un material compuesto con orientación de fibra unidireccional. Preferentemente, las fibras están dispuestas helicoidalmente alrededor del eje longitudinal del amarre con un ángulo de inclinación en el intervalo de $\pm 35^\circ$ a $\pm 65^\circ$. Las mismas consideraciones de disposición relativas a la orientación en sentido de las agujas del reloj respectivo en sentido contrario a las agujas del reloj también se pueden aplicar para las capas compuestas de armadura de tracción como para los elementos de armadura de tracción, con el fin de obtener características mecánicas simétricamente igualadas del amarre 3. Las capas compuestas de armadura de tracción pueden, por ejemplo, estar hechas de fibras de carbono, vidrio o aramida en una resina epoxi o matriz termoplástica. La capa de deslizamiento/antifricción pueden estar hecha, por ejemplo, en un material termoplástico como nailon 11 (PA11) o fluoropolímeros como politetrafluoretileno (PTFE).

La capa de aislamiento eléctrico que está dispuesta radialmente entre las dos capas de conductores eléctricos se aplica ventajosamente en un proceso de extrusión. Los materiales adecuados son, por ejemplo, polietileno (PE), polipropileno (PP) o materiales resistentes a altas temperaturas del grupo de los fluoropolímeros como polivinilideno (PVDF) o tetrafluoretileno/hexafluorpropileno-copolímero (Teflon® FEP). Para algunas aplicaciones, la capa de aislamiento eléctrico también se puede proporcionar como una hoja que puede estar hecha, por ejemplo, de PVDF o Teflon® FEP.

Preferentemente, los conductores eléctricos de la primera capa de conductores eléctricos y/o los conductores eléctricos de la segunda capa de conductores eléctricos están enrollados alrededor del eje central longitudinal del amarre con un ángulo de inclinación helicoidal en la región entre 25° y 45° , más preferentemente entre 30° y 40° , y lo más preferentemente de alrededor de 35° . Con un ángulo de inclinación helicoidal en estos intervalos, el estrés mecánico que actúa sobre los conductores eléctricos, la capa de aislamiento y el núcleo elástico se minimizan, debido a que los conductores eléctricos enrollados helicoidalmente y el núcleo elástico junto con la capa de aislamiento eléctrico muestran prácticamente la misma contracción/expansión radial, si el amarre está alargado o doblado axialmente.

Los conductores eléctricos individuales de la primera capa y/o los conductores eléctricos individuales de la segunda capa pueden estar enrollados helicoidalmente en cada caso de manera tal que, todos están alineados en paralelo entre sí. Se prefiere, sin embargo, una realización, en donde la primera capa de conductores eléctricos y/o la segunda capa de conductores eléctricos está formada por alambres trenzados. De este modo, los conductores eléctricos en este caso forman una estructura regular y entrelazada.

Los conductores eléctricos de la primera capa se pueden enrollar en direcciones opuestas alrededor del eje central longitudinal del amarre en comparación con los conductores eléctricos de la segunda capa. La primera capa de conductores eléctricos y/o la segunda capa de conductores eléctricos pueden comprender cada una varias subcapas adyacentes de alambres enrollados helicoidalmente. Ventajosamente, los alambres de las subcapas adyacentes se enrollan en direcciones opuestas. De este modo, los ángulos de inclinación de los alambres de subcapas adyacentes en este caso difieren entre sí por sus signos algebraicos. Al enrollar los alambres de la primera y segunda capas y/o de las subcapas adyacentes en direcciones opuestas, las características mecánicas del amarre se pueden igualar simétricamente.

Con respecto a la dirección longitudinal del amarre, la capa de soporte de carga tiene normalmente una rigidez de tracción que es mayor que la rigidez de tracción eficaz total del núcleo elástico, de la primera y segunda capa de conductores eléctricos y de la capa de aislamiento eléctrico juntas. La rigidez de tracción de un elemento alargado, tal como el amarre o una capa, se define aquí como el producto del módulo de elasticidad o módulo de Young del material del elemento a lo largo de la dirección longitudinal del elemento y el área de la sección transversal del elemento. De este modo, la rigidez de tracción indica la resistencia del elemento respectivo contra la deformación elástica debida a una carga de tracción. Al tener una rigidez de tracción que es mayor que la rigidez de tracción total del resto de las capas del amarre tomadas juntas, la capa de soporte de carga limita la exposición máxima al esfuerzo para las otras capas. Cuando se somete a una fuerza de tracción o cuando se dobla, por ejemplo, alrededor de un tambor, el estrés mecánico debida a la elongación elástica, la flexión y la torsión son absorbidas por la capa de soporte de carga en gran medida. Los conductores eléctricos, el núcleo elástico y la capa de aislamiento básicamente solo se mueven con la capa de soporte de carga sin estar sometidos a ningún estrés mecánico crítico.

En algunas realizaciones, el amarre comprende además al menos un cable de transmisión de datos que está dispuesto ventajosamente dentro del núcleo elástico. En este caso, el núcleo elástico tiene preferentemente un diseño hueco o cilíndrico. El cable de transmisión de datos es preferentemente un cable de fibra óptica.

En algunas realizaciones, una barrera contra la humedad y/o una capa deslizante se proporciona entre la capa más externa, es decir, normalmente, la segunda, de conductores eléctricos y la capa de soporte de carga. Para algunos materiales, las dos funciones de bloqueo de deslizamiento y humedad pueden lograrse particularmente mediante una sola capa que proporciona la propiedad de deslizamiento y forma una barrera contra la humedad, por ejemplo, poliamida 11 (PA11) o fluoropolímeros específicos (como politetrafluoretileno (PTFE) o polivinilideno fluoruro (PVDF)). También es posible tener dos capas para estos fines, es decir, se aplica una capa de bloqueo de la humedad sobre la capa más externa de conductores eléctricos y se aplica una capa deslizante entre la capa de bloqueo de la humedad y la capa de soporte de carga. Con el fin de tener un buen entrelazado con la capa conductora eléctrica, la capa de bloqueo de humedad/deslizamiento combinado y bloqueo de humedad puede extruirse sobre la capa de conductor eléctrico. De manera alternativa o adicional, también se puede proporcionar una capa de adhesión y/o una capa amortiguadora entre la capa más externa de conductores eléctricos y la capa de soporte de carga.

Para proteger la capa de soporte de carga, por ejemplo, contra la fricción o la luz solar, se puede proporcionar una capa de protección contra el desgaste que rodea la capa de soporte de carga. Con el fin de reducir la resistencia al viento del amarre, la capa de protección contra el desgaste puede tener una superficie externa estructurada, por ejemplo, con pequeñas abolladuras esféricas que pueden tener un tamaño en el intervalo de milímetros, similar a la superficie de una pelota de golf.

La invención también proporciona una unidad de amarre que comprende un amarre como se indica y un tambor para enrollar el amarre. El tambor se puede utilizar, por ejemplo, para almacenar el amarre, si la estación de potencia eólica no está en su estado operativo, o puede usarse para acomodar una parte de la longitud del amarre, si, durante el funcionamiento de la estación de potencia eólica, el amarre no está totalmente desenrollado. El tambor puede formar parte de una estación terrestre de una unidad de potencia que comprende adicionalmente una estación de potencia eólica aerotransportada y un amarre como se indica. La unidad de amarre puede tener dos tambores separados con diferentes tamaños para el mismo amarre. El primer tambor se puede utilizar para el transporte por carretera y tiene un diámetro mínimo de acuerdo con el límite del radio de flexión del amarre, con el fin de evitar problemas de transporte al pasar por pasos de carretera con límites de tamaño, como puentes o túneles. El segundo tambor se puede utilizar para el funcionamiento del servicio del amarre junto con la estación de potencia eólica aerotransportada y la estación terrestre con un diámetro más grande optimizado para una baja fatiga de los materiales del amarre.

Si el amarre tiene un primer radio exterior y el tambor comprende una superficie periférica para acomodar el amarre con un segundo radio externo, la relación del primer radio externo del amarre con respecto al segundo radio externo de la superficie periférica del tambor es preferentemente de al menos 0,3 % y no más del 2 %, más preferentemente al menos 0,5 % y no más de 1,5 % para una capa de soporte de carga hecha de dos o más capas compuestas con orientación de fibra unidireccional o para una capa de soporte de carga hecha de una o más capas de material compuesto trenzadas. Para una capa de soporte de carga hecha de capas concéntricas de elementos de armadura de tracción dispuestos en forma circular o perfiles de armadura de tracción o capas compuestas de armadura de tracción o para una capa de soporte de carga hecha de una capa resistente a la compresión junto con una capa antideslizante/antifricción y una armadura de tracción capa, la relación del primer radio externo del amarre con respecto al segundo radio externo de la superficie periférica del tambor es preferentemente de al menos 0,3 % y no más del 5 %, más preferentemente al menos 0,5 % y no más del 3 %. Con tal relación entre el radio externo del amarre y el radio externo del tambor, el tambor está dimensionado de tal manera que, por un lado, el estrés mecánico al que se somete el amarre cuando se enrolla en el tambor no es demasiado alto y que, por otro lado, se minimiza el tamaño del tambor.

Adicionalmente, la invención proporciona una unidad de potencia que comprende una estación de potencia eólica aerotransportada, una estación terrestre y al menos un amarre como se indica. El amarre sirve para conectar la estación de potencia eólica aerotransportada a la estación terrestre tanto física como eléctricamente.

Breve descripción de las figuras

A continuación, se describen las realizaciones preferidas de la invención con referencia a los dibujos, que solo sirven para fines ilustrativos, pero no tienen efectos limitantes. En los dibujos se muestra:

- Fig. 1 muestra esquemáticamente una unidad de potencia con una estación de potencia eólica aerotransportada, una estación terrestre y un amarre de transmisión de energía eléctrica de acuerdo con la invención;
- Fig. 2 muestra la construcción de una primera realización de un amarre de transmisión de energía eléctrica de la invención, en una vista en perspectiva;
- Fig. 3 muestra la construcción de una segunda realización de un amarre de transmisión de energía eléctrica de la invención, en una vista en perspectiva;
- Fig. 4 muestra una vista lateral del núcleo elástico y un conductor eléctrico enrollado helicoidalmente del amarre como se muestra en la Fig. 2 o 3;
- Fig. 5 muestra una vista lateral del núcleo elástico y una pluralidad de conductores eléctricos enrollados

- Fig. 6 helicoidalmente del amarre como se muestra en la Fig. 2 o 3;
muestra una vista lateral del núcleo elástico y una pluralidad de conductores eléctricos enrollados helicoidalmente y trenzados del amarre como se muestra en la Fig. 2 o 3;
- Fig. 7 muestra un diagrama que ilustra la diferencia de contracción radial entre un alambre helicoidal y un núcleo elástico ($\Delta p_{\text{radical}}$) en función del ángulo de inclinación helicoidal α del alambre, para una extensión axial ϵ de +1,5 % de todo el amarre;
- Fig. 8 muestra una sección transversal de una tercera realización de un amarre de transmisión de energía eléctrica de la invención con diferentes realizaciones posibles de la capa de soporte de carga mostrada en a1), b1) y c1);
- Fig. 9 muestra un corte axial de una cuarta realización de un amarre de transmisión de energía eléctrica de la invención con diferentes realizaciones posibles de la capa de soporte de carga que comprende una capa resistente a la compresión interna como se muestra en a2), b2), c2), d2), e2), f2), g2), una capa de deslizamiento/antifricción y diferentes realizaciones posibles de una capa de armadura de tracción externa como se muestra en a3), b3);
- Fig. 10 muestra un corte axial de una quinta realización de un amarre de transmisión de energía eléctrica de la invención con diferentes realizaciones posibles de la capa de soporte de carga que comprende una capa resistente a la compresión interna como se muestra en a4), b4), c4), d4), e4) y una capa de armadura de tracción externa y que comprende un sistema eléctrico con una capa de protección conductora y/o una o más capas amortiguadoras;
- Fig. 11 muestra una sección transversal del amarre como se muestra en la Fig. 10 con diferentes realizaciones posibles de la capa de protección del conductor y de la capa amortiguadora en a5), b5) y c5);
- Fig. 12 muestra un corte axial de una sexta realización de un amarre de transmisión de energía eléctrica de la invención en donde cada una de las dos capas de conductores eléctricos comprende dos subcapas entre cada una de las cuales se proporciona una capa de deslizamiento/antifricción; y
- Fig. 13 muestra la construcción de una séptima realización de un amarre de transmisión de energía eléctrica de la invención en una vista en perspectiva, con diferentes realizaciones posibles de las capas de conductores eléctricos como se muestra en a6) y b6).

Descripción de realizaciones preferidas

La figura 1 muestra una unidad de potencia con una estación de potencia eólica aerotransportada 1 que se conecta a una estación terrestre 2 por medio de un solo amarre de transmisión de energía eléctrica 3. Por supuesto, también sería posible proporcionar más de un amarre de transmisión de energía eléctrica 3 para conectar la estación de potencia eólica aerotransportada 1 a la estación terrestre 2.

El amarre de transmisión de energía eléctrica 3 sirve para acoplar la estación de potencia eólica aerotransportada 1 al suelo tanto física como eléctricamente. De este modo, el amarre 3 debe ser capaz de resistir las fuerzas de tracción provocadas por el viento que actúa sobre la estación de potencia eólica aerotransportada 1 y provocadas por cambios de dirección de la estación de potencia eólica aerotransportada 1 debido a maniobras de vuelo especiales. Las fuerzas de tracción, que a menudo varían mucho en períodos cortos de tiempo, hacen que el amarre 3, en comparación con su estado descargado, se estire longitudinalmente y, por consiguiente, se contrae radialmente.

En la estación terrestre 2, una parte del amarre 3 se enrolla sobre un tambor 15 durante el estado operativo de la estación de potencia eólica 1 como se muestra en la Fig. 1. El tambor 15 se usa para acomodar una parte del amarre 3 durante las fases de inicio y recuperación de la estación de potencia eólica aerotransportada 1 y durante su estado de funcionamiento normal si no se usa la longitud máxima del amarre 3. El tambor 15 también se puede utilizar con fines de transporte. Si la ruta de transporte desde la ubicación de fabricación del amarre 3 hasta la ubicación de instalación requiere un diámetro de tambor menor, también se puede aplicar un tambor más pequeño que cumpla con los requisitos para el radio de flexión mínimo del amarre 3.

Debido a la flexión del amarre 3 a lo largo de la superficie externa periférica del tambor 15, se produce una cierta compresión de las partes del amarre 3 que miran hacia el centro del tambor 15 y una cierta tensión de las partes que miran radialmente hacia fuera del tambor 15. Debido a la flexión del amarre 3 a lo largo de la superficie externa periférica del tambor 15, también se produce una compresión del amarre 3 en la dirección radial del tambor 15, de tal manera que la parte del amarre 3 que se enrolla sobre el tambor 15 tiene normalmente una sección transversal ligeramente ovalada.

La estación de potencia eólica aerotransportada 1 comprende una superficie aerodinámica en la que se unen uno o más generadores eléctricos 16. Cada uno de los generadores eléctricos 16 está accionado por un impulsor, con el fin de producir energía eléctrica. Preferentemente, los generadores eléctricos 16 también se pueden utilizar como motores, con el fin de accionar los impulsores, por ejemplo, durante las fases de inicio y recuperación de la estación de potencia eólica aerotransportada 1. La energía eléctrica producida por los generadores eléctricos 16 en el estado de funcionamiento normal de la estación de potencia eólica 1, así como la energía eléctrica consumida por los generadores eléctricos 16 cuando se utilizan como motores, se transfieren entre la estación de potencia eólica 1 y la estación terrestre 2 y viceversa por medio del amarre 3. Asimismo, los movimientos de vuelo de la estación de

potencia eólica aerotransportada 1 pueden controlarse mediante el arrastre del amarre 3 regulado por el sistema de accionamiento del tambor 15.

El control de los movimientos de vuelo de la estación de potencia eólica 1 mediante, por ejemplo, las acciones correspondientes de los impulsores o de los timones se puede lograr de forma inalámbrica mediante la provisión de unidades de transmisión de señales inalámbricas correspondientes en la estación de potencia eólica 1 y la estación terrestre 2 o por una conexión de señal cableada entre la estación de potencia eólica 1 y la estación terrestre 2. En caso de una conexión de señal cableada, se pueden proporcionar alambres de señal metálicos o, preferentemente, cables de fibra óptica dentro del amarre 3 para este fin.

La figura 2 muestra la estructura interna de una primera realización de un amarre de transmisión de energía eléctrica 3 de la invención. El amarre 3 tiene una construcción multicapa con varias capas 4-10, teniendo cada una de ellas una sección transversal circular. Cada capa 4-10 se extiende a lo largo de toda la longitud longitudinal del amarre 3 con una sección transversal constante.

En el centro del amarre 3, se proporciona un núcleo elástico 4 de un material elástico, no metálico, típicamente un elastómero, tal como etileno-propileno-terpolímero-caucho (EPDM), caucho de nitrilo (NBR) o elastómero de silicona. También materiales termoplásticos, por ejemplo, polietileno (PE) con una elasticidad adecuada en el intervalo de 3 % o más, pueden ser aplicados. El núcleo elástico 4 tiene un módulo de Young en la región de 1 N/mm² hasta 100 N/mm² para elastómeros y hasta aproximadamente 4000 N/mm² para materiales termoplásticos.

Dado que el amarre 3 representa la única conexión de la estación de potencia eólica aerotransportada 1 al suelo, se necesita lograr una transmisión libre de potencial de tierra de energía eléctrica por medio del amarre 3. Por consiguiente, el amarre 3 comprende al menos dos capas de conductores eléctricos 5, 9 que están entre sí por medio de una capa de aislamiento eléctrico 7. Entre las dos capas de conductores eléctricos 5, 9 se puede establecer un campo electromagnético, con el fin de transmitir energía eléctrica desde la estación de potencia eólica 1 a la estación terrestre 2 (o viceversa).

Mientras que la primera capa de conductores eléctricos en forma de alambres metálicos 5 se enrolla directamente sobre y alrededor del núcleo elástico 4, la segunda capa de conductores eléctricos en forma de alambres metálicos 9 se enrolla alrededor de la capa de aislamiento eléctrico 7. Con el fin de lograr una cierta elasticidad del sistema de transmisión eléctrica formado aquí por las capas 5, 7 y 9, cada uno de los alambres metálicos 5 y 9 está enrollado helicoidal o en espiral a lo largo de la dirección longitudinal del núcleo elástico 4 o de la capa de aislamiento eléctrico 7, respectivamente. Los alambres metálicos individuales 5 y 9 que están dispuestos en la misma capa 5 o 9 del amarre 3 no están normalmente aislados eléctricamente entre sí. Los alambres metálicos 5 y 9 están hechos preferentemente de cobre.

La capa de aislamiento eléctrico 7 que está dispuesta radialmente entre las dos capas de conductores eléctricos 5, 9 se aplica ventajosamente en un proceso de extrusión. Los materiales adecuados son, por ejemplo, polietileno (PE), polipropileno (PP) o materiales resistentes a altas temperaturas del grupo de los fluoropolímeros como polivinilideno fluoruro (PVDF) o tetrafluoretileno/hexafluoropropileno-copolímero (Teflon® FEP). Para algunas aplicaciones con una tensión del sistema eléctrico de solo unos pocos kilovoltios, la capa de aislamiento eléctrico 7 también se puede proporcionar como una hoja envuelta que puede estar hecha, por ejemplo, de PVDF o Teflon® FEP.

En ambos lados de la capa de aislamiento 7 a lo largo de la dirección radial del amarre 3, se proporciona una capa semiconductor 6, 8. La primera capa semiconductor 6 está dispuesta entre la primera capa de alambres metálicos 5 y la capa de aislamiento 7, y la segunda capa semiconductor 8 se proporciona entre la capa de aislamiento 7 y la segunda capa de alambres metálicos 9. Por medio de las capas semiconductoras 6 y 8 con una mínima rugosidad superficial, que puede ser, por ejemplo, de polietileno semiconductor, se puede lograr un campo eléctrico homogéneo geométricamente bien definido.

Con el fin de absorber las fuerzas de tracción que actúan sobre el amarre 3 durante el funcionamiento de la estación de potencia eólica aerotransportada 1, se proporciona una capa 10 de soporte de carga. Con el fin de lograr una alta rigidez de tracción y también una rigidez radial, la capa de soporte de carga 10 puede comprender elementos alargados, tales como fibras, enrollados helicoidalmente alrededor de la capa más externa de conductores eléctricos 9. La capa de soporte de carga 10 rodea la segunda capa de alambres metálicos 9 y, de este modo, representa la capa radialmente más externa del amarre 3. La capa de soporte de carga 10 protege las capas internas 5, 6, 7, 8, 9 contra cargas axiales y no axiales y limita la exposición máxima al esfuerzo para estas capas. Dependiendo de la realización específica seleccionada de la capa de soporte de carga 10, la capa de soporte de carga 10 tiene un módulo de Young en la dirección axial del amarre 3 en la región de 20'000 N/mm² hasta 200'000 N/mm², preferentemente en la región de 60'000 N/mm² hasta 160'000 N/mm². La capa de soporte de carga 10 está hecha preferentemente de un material reforzado con fibra, particularmente, un material plástico reforzado con fibra, tal como un compuesto de matriz polimérica (PMC) o un polímero termoendurecible reforzado con fibra con, por ejemplo, un material de matriz de resina epoxi. También resina epoxi con adición de caucho, por ejemplo, se puede utilizar material de matriz de resina epoxi modificada con copolímero aleatorio de butadieno-acrilonitrilo terminado en

carboxilo (CTBN) para mejorar la flexibilidad del material compuesto de fibra. Las fibras pueden ser, por ejemplo, fibras de carbono, fibras de vidrio o fibras de aramida, posiblemente con una resina epoxi o un material de matriz termoplástico, y se puede disponer en paralelo al eje central longitudinal del amarre 3 o enrollar helicoidalmente alrededor de la capa más externa de conductores eléctricos, que aquí está representada por la segunda capa de conductores eléctricos 9. Una disposición inclinada de las fibras con respecto al eje central longitudinal del amarre 3 y, particularmente, un enrollamiento helicoidal contribuye a la rigidez radial de la capa de soporte de carga 10. Si las restricciones de peso permiten un peso mayor, también, por ejemplo, se puede usar acero de alta resistencia para los elementos alargados de la capa de soporte de carga 10.

También es posible proporcionar una capa de protección contra el desgaste entre los alambres metálicos 9 y la capa de soporte de carga 10, especialmente cuando la capa 10 de soporte de carga está hecha de un material metálico, tal como acero. Se prefiere el uso de un material no metálico para la capa de soporte de carga, sin embargo, con el fin de ahorrar peso.

El diseño de la capa de soporte de carga 10 se puede seleccionar de diferentes maneras dependiendo de los requisitos específicos de la aplicación. Por ejemplo, una realización ligera y relativamente rígida de la capa de soporte de carga 10 con buena resistencia a la compresión radial, especialmente adecuado para pequeños diámetros del amarre 3, se puede seleccionar de manera que las fibras se enrollen helicoidalmente alrededor de la capa más externa de conductores eléctricos 9. Puede haber dos o varias capas con orientación de fibra unidireccional del mismo ángulo de inclinación helicoidal, pero enrolladas en direcciones opuestas. Para una mayor rigidez de tracción, se pueden, por ejemplo, trenzar. El trenzado de las fibras puede ser biaxial o triaxial. Se pueden aplicar trenzas con diferentes ángulos de inclinación helicoidal de las fibras en capas posteriores para optimizar las propiedades mecánicas de la capa de soporte de carga 10. Cuando se inclinan con respecto al eje central longitudinal y particularmente cuando se enrollan helicoidalmente, los ángulos de inclinación de las fibras están preferentemente entre $\pm 35^\circ$ y $\pm 90^\circ$, más preferentemente entre $\pm 45^\circ$ y $\pm 75^\circ$, con el fin de lograr una buena protección contra la compresión radial. Por supuesto, también se pueden aplicar combinaciones de estas técnicas de colocación y/o varias capas de fibra con diferentes ángulos de inclinación. El material de la matriz puede ser, por ejemplo, polietileno (PE), sulfuro de polifenileno (PPS) o polieterecetona (PEEK); por supuesto, también se puede utilizar resina epoxi como material de matriz. Con el fin de ahorrar peso, la capa de soporte de carga 10 es ventajosamente no metálica.

En las figuras 8 a 11 se muestran otras posibles realizaciones de la capa de soporte de carga 10.

La figura 3 muestra una segunda realización de un amarre de transmisión de energía eléctrica 3 de la invención para una estación de potencia eólica aerotransportada 1. Los elementos con una función idéntica o similar se anotan con los mismos números de referencia en todas las figuras 1 a 13.

Entre otras cosas, la realización como se muestra en la figura 3 difiere de la realización de la figura 2 porque comprende un cable de fibra óptica 11. El cable de fibra óptica 11 se extiende dentro del núcleo elástico 4 a lo largo de toda la longitud longitudinal del amarre 3 y sirve para la comunicación de datos entre la estación terrestre 2 y la estación de potencia eólica 1. Por ejemplo, señales de control para controlar los movimientos de vuelo de la estación de potencia eólica 1 o señales de estado o de sensor pueden transmitirse por medio del cable de fibra óptica 11. El uso de la estación de potencia eólica aerotransportada 1 como estación para la transmisión de señales de radio electromagnéticas para aplicaciones civiles o militares también se puede implementar con la ayuda del cable de fibra óptica 11 y antenas de recepción y transmisión adecuadas ubicadas en la estación de potencia eólica aerotransportada 1. Dependiendo de la situación del viento local, el sistema se puede implementar como de autoabastecimiento total o parcialmente. El cable de fibra óptica 11 está dispuesto en el centro del núcleo elástico 4 que tiene aquí un diseño hueco o cilíndrico y, de este modo, coincide con el eje central longitudinal del amarre 3.

En la realización de la figura 3, se proporcionan dos subcapas adyacentes para los alambres metálicos 5, así como para los alambres metálicos 9. Las dos subcapas de alambres metálicos 5 y 9 pueden caracterizarse en cada caso, por ejemplo, por la dirección en donde los respectivos alambres metálicos 5 o 9 se enrollan alrededor del eje central longitudinal del amarre 3. Por ejemplo, los alambres metálicos 5 de la primera subcapa interna se pueden enrollar en el sentido de las agujas del reloj alrededor del núcleo central 4 y los alambres metálicos 5 de la segunda capa externa adyacente se pueden enrollar en la dirección opuesta a las agujas del reloj, con el fin de igualar simétricamente las características mecánicas del amarre 3. En general, se pueden proporcionar otras subcapas para las capas de alambres metálicos 5 y 9.

Dentro del núcleo elástico 4, se pueden proporcionar hebras 12 elásticas o no elásticas a lo largo de la dirección longitudinal del amarre 3. Si las hebras no son elásticas, se proporcionan solo con fines de producción y están previstas a romperse durante el primer uso del amarre 3.

En la realización que se muestra en la figura 3, se proporciona una capa deslizante 13 entre la segunda capa externa de alambres metálicos 9 y la capa de soporte de carga 10. La capa de deslizamiento 13 sirve para proporcionar la posibilidad de deslizamiento de baja fricción entre la capa de soporte de carga 10 y la capa externa de alambres metálicos 9. En la realización actual, la capa deslizante 13 también tiene la función de barrera contra la

humedad, con el fin de evitar que la humedad alcance los alambres metálicos 5 y 9 y, especialmente, la capa de aislamiento eléctrico 7 que podría sufrir una degradación de su capacidad de aislamiento eléctrico debido a la humedad. Por supuesto, la capa deslizante 13 también podría ser permeable a la humedad, y podría proporcionarse una capa adicional de bloqueo de la humedad, estando colocada entre la capa deslizante 13 y la capa externa de alambres metálicos 9. Si no se necesita un deslizamiento de baja fricción de la capa de soporte de carga 10 sobre los alambres metálicos 9, la capa 13 también podría ser una capa de bloqueo de humedad sin tener ninguna función de deslizamiento.

En la realización de la figura 3, una capa de protección contra el desgaste 14 está dispuesta como la capa más externa en el lado externo de la capa de soporte de carga 10, con el fin de proteger la capa de soporte de carga 10, por ejemplo, contra la fricción mecánica cuando se enrolla en el tambor 15 o contra la humedad, la luz del sol o ciertos ácidos presentes en el aire. Con el fin de reducir la resistencia al viento del amarre 3, la capa de protección contra el desgaste 14 se puede implementar con una superficie cubierta con pequeñas abolladuras esféricas con un tamaño en el intervalo de milímetros, similar a la superficie de una pelota de golf. La capa de protección contra el desgaste 14 puede comprender, además, una trenza de hebras, por ejemplo, de hebras de alta tracción hechas de, por ejemplo, aramida, con un ángulo de inclinación helicoidal en el intervalo de $\pm 40^\circ$ a $\pm 60^\circ$ para reforzar la capa de protección contra el desgaste 14 y evitar que la capa de protección contra el desgaste 14 se desprenda cuando se degrada localmente.

La figura 4 ilustra cómo los alambres metálicos 5 de la primera capa de conductores eléctricos se enrollan helicoidalmente alrededor del núcleo elástico 4 en las realizaciones mostradas en las figuras 2 y 3. Los alambres metálicos 9 de la segunda capa de conductores eléctricos se pueden enrollar alrededor de la capa de aislamiento 7 por consiguiente. Los alambres metálicos 5 (o 9) forman una hélice con un ángulo de inclinación helicoidal α . En las realizaciones mostradas en las figuras 2 y 3, el ángulo de inclinación helicoidal α de los alambres metálicos 5 y 9 está preferentemente en la región entre 25° y 45° , en particular, de entre 30° y 40° . El uso de tal ángulo de inclinación helicoidal α para los alambres metálicos 5 y 9 conduce a una contracción radial prácticamente igual de los alambres metálicos 5 y 9 así como del núcleo elástico 4 y de la capa de aislamiento 7 bajo elongación axial o compresión inducida por cargas de alta tracción u operaciones de enrollado del amarre 3.

Preferentemente, como se muestra en la figura 5, se proporciona una pluralidad de alambres metálicos enrollados estrechamente tanto en la primera capa de alambres metálicos 5 como en la segunda capa de alambres metálicos 9.

En una realización particularmente preferida, tanto la primera capa de conductores eléctricos 5 como la segunda capa de conductores eléctricos 9 se proporcionan en forma de alambres eléctricos trenzados entre sí. Tal como se ve en la figura 6, todos los alambres metálicos 5 (o 9) de la primera capa de conductores eléctricos 5 (y de la segunda capa de conductores eléctricos 9, respectivamente) se enrollan helicoidalmente alrededor del núcleo elástico 4 con el mismo ángulo de inclinación helicoidal α que se encuentra en la región entre 25° y 45° (entre -25° y -45°), en particular entre 30° y 40° (entre -30° y -40°).

Los alambres metálicos 5 y 9 están enrollados helicoidalmente alrededor del eje central longitudinal del amarre 3, con el fin de evitar la deformación plástica del material conductor altamente inelástico, tal como cobre. Sin embargo, se ha reconocido que el ángulo de inclinación de las hélices formadas por los alambres metálicos 5 y 9 es crucial, con el fin de evitar un daño del amarre 3 bajo cargas de alta tracción o cuando se dobla alrededor del tambor 15, por ejemplo. Por lo tanto, se presentan los siguientes cálculos para optimizar el ángulo de inclinación helicoidal α en el caso de un alambre metálico 5 enrollado helicoidalmente alrededor de un núcleo elástico 4 (situación como se muestra en la figura 4):

El cambio relativo de longitud ϵ del núcleo elástico 4 conduce a una contracción radial. El cálculo del coeficiente de contracción radial ρ_1 del núcleo elástico 4 se da como sigue:

$$\rho_1 = \sqrt{\frac{1}{1 + \epsilon}}$$

El cambio relativo en la longitud ϵ de la hélice conduce a una contracción radial del alambre metálico 5, que depende del ángulo de inclinación α . El coeficiente de contracción radial ρ_2 de la hélice se puede calcular de la siguiente manera:

$$\rho_2 = \frac{\sqrt{1 - ((1 + \epsilon) \sin \alpha)^2}}{\cos \alpha}$$

El comportamiento de la hélice formada por el alambre metálico 5 en relación al núcleo elástico 4 bajo esfuerzo axial se puede subdividir en los siguientes casos:

- I. $\rho_1 < \rho_2$: La hélice formada por el alambre 5 se despegue del núcleo elástico 4.
- II. $\rho_1 = \rho_2$: La hélice formada por el alambre 5 se mueve sincronizadamente con el núcleo elástico 4.
- III. $\rho_1 > \rho_2$: La hélice formada por el alambre 5 se presiona en el núcleo elástico 4.

- 5 En el caso I, las capas que están dispuestas radialmente fuera del alambre metálico 5, tal como la capa de aislamiento 7, limitan el despegue de la hélice del núcleo elástico 4. Por lo tanto, los alambres metálicos 5 están expuestos a esfuerzo por compresión y es muy probable que ocurra el pandeo de los alambres metálicos 5, lo que posiblemente conducirá a fallas en las capacidades de transmisión de energía eléctrica del amarre 3.
- 10 En el caso III, no es posible que la hélice de los alambres metálicos 5 penetre en la superficie del núcleo elástico 4, si se modela el núcleo elástico 4, en un primer enfoque, como incompresible. Como resultado, se producirá una elongación junto con la deformación plástica de los alambres metálicos 5. Cuando se ve obligado a volver a la posición neutra en el caso de que no haya tensión axial ($\varepsilon = 0$), los alambres metálicos alargados 5 se pandearán.
- 15 En el caso II, la contracción radial igual conduce a un estrés mecánico mínimo de los alambres metálicos 5 y del núcleo elástico 4.

El ángulo de inclinación óptimo α en el que se cumple el caso II se puede calcular de la siguiente manera:

20
$$\Delta\rho_{radial} := \rho_1 - \rho_2 = \sqrt{\frac{1}{1 + \varepsilon}} - \frac{\sqrt{1 - ((1 + \varepsilon) \sin \alpha)^2}}{\cos \alpha} = 0$$

La ilustración gráfica de esta ecuación para encontrar el ángulo de inclinación óptimo α se ilustra en la figura 7 para la situación de un alargamiento axial $\varepsilon = 1,5\%$.

- 25 Este cálculo del ángulo de inclinación óptimo α da como resultado:

$$\alpha = \arcsen \left(\sqrt{\frac{\varepsilon}{1 - (1 + \varepsilon)^2}} \right)$$

- 30 De este modo, para una elongación axial ε de $+1,5\%$ de todo el amarre 3 se obtiene un ángulo de inclinación óptimo α_1 de la hélice formada por el alambre metálico 5 de $34,96^\circ$. En el caso de enrollar el amarre 3 en el tambor 15, las partes del amarre 3 que miran hacia el centro del tambor 15 se comprimen. Para una compresión de ε de $-1,5\%$ de, por ejemplo, los alambres metálicos 5, se obtiene un ángulo de inclinación óptimo α_2 de $35,57^\circ$. Aplicando el valor promedio de $(\alpha_1 + \alpha_2)/2 = \alpha_{optar}$ de $35,265^\circ$, redondeado a $35,3^\circ$ para ambos casos de carga (elongación y compresión), la diferencia de aproximadamente $0,3^\circ$ a los valores exactos de α_1 y α_2 estará dentro de las tolerancias de producción. Cabe señalar que los cálculos anteriores también son aplicables para la hélice formada por alambres metálicos 9 enrollados alrededor de la capa de aislamiento 7.

- 40 Los experimentos han demostrado que el amarre 3 para la estación de potencia eólica aerotransportada 1 debe elegirse de tal manera que la elongación ε a lo largo de su dirección longitudinal sea inferior al 5% , más preferentemente por debajo del 3% , para la carga máxima de tracción que se espera. Se requiere cierta elasticidad para absorber mejor las fuerzas de tracción que actúan sobre el amarre 3. Si, sin embargo, el amarre 3 se alarga en más del 3% o, incluso, más del 5% , existe el riesgo de que la capa de aislamiento 7 se degrade. Los experimentos con el material aislante típico de polietileno mostraron que la capacidad de aislamiento eléctrico está empezando a disminuir debido a la degradación del material aislante a tasas de esfuerzo repetitivas superiores al 5% . Se puede observar un ángulo de inclinación óptimo teórico α de $35,3^\circ$ con una variación de solo $\pm 0,3^\circ$ de los conductores eléctricos para el rango de posibles elongaciones ε del amarre 3. Para la implementación práctica de los alambres metálicos enrollados helicoidalmente 5 y 9, la parte a optimizar es, entre otras cosas, la conductividad en la dirección axial sobre la base del esfuerzo dado y la tasa de ciclo de fatiga. Por consiguiente, el ángulo de inclinación óptimo tiene un intervalo de variación más amplio. De este modo, los alambres metálicos 5 y 9 se enrollan preferentemente alrededor del eje central longitudinal del amarre 3 en un ángulo de inclinación de 25° a 45° , más preferentemente, de 30° a 40° , y lo más preferentemente de alrededor de 35° .

- 50 La figura 8 muestra una sección transversal del amarre 3 que ilustra diferentes posibles construcciones de la capa de soporte de carga 10 en combinación con una capa amortiguadora elástica 17 para igualar las fuerzas de compresión radial hacia una posible realización de un sistema de transmisión eléctrica 4, 5, 6, 7, 8, 9 provocada por la contracción radial de la capa de soporte de carga 10 bajo carga de tracción.

- 60 La capa de soporte de carga 10 se puede implementar como se muestra en la subfigura a1) en forma de dos capas de elementos de armadura de tracción 18, 19 dispuestos circularmente. Estos elementos de armadura de tracción están dispuestos helicoidalmente alrededor del eje central longitudinal del amarre 3 con un ángulo de inclinación en

el intervalo de $\pm 65^\circ$ a $\pm 85^\circ$. Pueden estar hechos de un material compuesto, por ejemplo, alambres de fibra de carbono extraída o, si las restricciones de peso permiten un peso mayor, también de, por ejemplo, acero de alta resistencia. Las dos capas de elementos de armadura de tracción 18, 19 pueden estar caracterizadas, en cada caso, por ejemplo, por la dirección en donde los respectivos elementos de armadura de tracción se enrollan alrededor del eje central longitudinal del amarre 3. Por ejemplo, los elementos de armadura de tracción 18 de la primera subcapa interior se pueden enrollar en el sentido de las agujas del reloj alrededor de la capa amortiguadora elástica 17, y los elementos de armadura de tracción 19 de la segunda subcapa exterior adyacente se pueden enrollar en el sentido contrario, sentido contrario a las agujas del reloj, con el fin de igualar simétricamente las características mecánicas del amarre 3. De acuerdo con los requisitos de resistencia de tracción del amarre 3, pueden proporcionarse subcapas adicionales de elementos de armadura de tracción.

Bajo esfuerzo axial del amarre 3, los elementos de armadura de tracción aplicados helicoidalmente 18, 19 inducirán una fuerza de compresión en las partes internas del amarre 3. Por lo tanto, una capa amortiguadora elástica 17 que consiste en un material blando, por ejemplo, elastómero de silicona, caucho despolimerizado o poliuretano, pueden ser aplicados, con el fin de homogeneizar las fuerzas de compresión radiales sobre la capa conductora eléctrica más externa 9. Esto ayudará a evitar la deformación plástica y el peligro de pandeo y rotura de los alambres eléctricos en la capa del conductor eléctrico 9.

La capa de soporte de carga 10 también se puede implementar como se muestra en la subfigura b1) en forma de dos capas de perfiles de armadura de tracción 20, 21 dispuestos circularmente. Se pueden aplicar las mismas consideraciones relativas a la disposición de los perfiles de armadura de tracción 20, 21 que para los elementos de armadura de tracción 18, 19. Los perfiles de armadura de tracción pueden estar hechos de un material compuesto, por ejemplo, alambres de fibra de carbono extraída o, si las restricciones de peso permiten mayor peso, también de, por ejemplo, acero de alta resistencia.

La capa de soporte de carga 10 también se puede implementar como se muestra en la subfigura c1) en forma de dos capas compuestas de armadura de tracción 22, 23. Una capa compuesta de armadura de tracción 22, 23 está hecha de un material compuesto con orientación de fibra unidireccional. Las fibras están dispuestas helicoidalmente alrededor del eje longitudinal del amarre 3 con un ángulo de inclinación en el intervalo de $\pm 65^\circ$ a $\pm 85^\circ$. Se pueden aplicar las mismas consideraciones relativas a la disposición en sentido de las agujas del reloj respectivo en sentido contrario a las agujas del reloj de las capas compuestas de armadura de tracción que para los elementos de armadura de tracción 18, 19, con el fin de obtener características mecánicas simétricamente igualadas del amarre 3. Las capas compuestas de armadura de tracción 22, 23 pueden estar hechas, por ejemplo, de carbono, fibras de vidrio o aramida en resina epoxi o matriz termoplástica. Las capas compuestas de armadura de tracción 22, 23 pueden separarse mediante una capa adicional de deslizamiento/antifricción, con el fin de lograr un radio de curvatura más pequeño de todo el amarre 3 cuando se enrolla en un tambor 15.

Con el fin de lograr una capacidad de transmisión de potencia eléctrica suficiente en el caso de una estación de potencia eólica aerotransportada muy grande 1, se requiere un gran diámetro del amarre 3. Con el enfoque de acuerdo con la Figura 8, el aumento de las fuerzas axiales que actúan sobre el amarre 3, que resultan en un aumento de las fuerzas de compresión radial, puede conducir a una mayor degradación de los conductores eléctricos.

En la Figura 9, se muestra una implementación adicional del amarre de transmisión de energía eléctrica de la invención 3, optimizando sus límites de radio de flexión hacia los requisitos de alta carga de tracción mediante la adición de una capa resistente a la compresión 25 junto con capas adicionales de deslizamiento/antifricción 24, 26, 28, 37, 40 y, por lo tanto, con una mayor protección del sistema eléctrico 4, 5, 6, 7, 8, 9.

La capa de soporte de carga 10 se subdivide en una capa resistente a la compresión 25, una capa de deslizamiento/antifricción 26 y una capa de armadura de tracción 27. Entre la capa de soporte de carga 10 y el sistema eléctrico 4, 5, 6, 7, 8, 9 se implementa preferentemente una capa de deslizamiento/antifricción 24. También entre la capa de soporte de carga 10 y la capa de protección contra el desgaste 14, se puede implementar una capa de deslizamiento/antifricción 28. Estas capas de deslizamiento/antifricción 24, 26, 28 ayudan a permitir un pequeño radio de flexión de todo el amarre 3 debido al estado no adherido de las diferentes capas. Las capas de deslizamiento/antifricción 24, 26, 28 pueden consistir, por ejemplo, en un material termoplástico como nailon 11 (PA11) o fluoropolímeros como politetrafluoretileno (PTFE).

La capa resistente a la compresión 25 se puede implementar como se muestra en la subfigura a2) en forma de capa resistente a la compresión 29 en forma de S, también llamada carcasa. Los elementos alargados individuales con el perfil en forma de S utilizados en la capa resistente a la compresión entrelazada en forma de S 29 están dispuestos de forma helicoidal alrededor del eje longitudinal del amarre 3 con un ángulo de inclinación en el intervalo de 1° a 20° , más preferentemente, en el intervalo de 5° a 10° . Dependiendo del ángulo de inclinación helicoidal de la capa resistente a la compresión entrelazada en forma de S 29 y del ancho del perfil en forma de S de la capa resistente a la compresión entrelazada en forma de S 29, la capa resistente a la compresión 25 puede comprender más de un perfil en forma de S aplicado helicoidalmente de la capa resistente a la compresión entrelazada en forma de S 29. Pueden estar hechos de un material compuesto, por ejemplo, de fibra de carbono extraída o, si las restricciones de

peso permiten un peso mayor, también de, por ejemplo, acero de alta resistencia.

En b2) se muestra una realización adicional de la capa resistente a la compresión 25 en forma de una capa resistente a la compresión entrelazada en forma de Z 30, también llamada capa de resistencia de aro. También se pueden aplicar las mismas consideraciones de disposición para la capa resistente a la compresión entrelazada en forma de Z 30 que para la capa resistente a la compresión entrelazada en forma de S 29. La capa resistente a la compresión entrelazada en forma de Z 30 puede consistir en un material compuesto, por ejemplo, de fibra de carbono extraída o, si las restricciones de peso permiten un peso mayor, también de, por ejemplo, acero de alta resistencia.

En c2) se muestran otras formas realizaciones de la capa resistente a la compresión 25: Una capa resistente a la compresión en forma de Z 31; y en d2): una capa resistente a la compresión en forma de T 32, y en e2): una capa resistente a la compresión inclinada 33; y en f2): una capa resistente plana a la compresión 34. A diferencia de las capas resistentes a la compresión 29 y 30, estas capas no están entrelazadas, sino que cuentan con un perfil de sección transversal más simple, más fácil de producir. Las mismas consideraciones de disposición también se pueden aplicar para las realizaciones 31, 32, 33, 34 de las capas resistentes a la compresión 25, en cuanto a la capa resistente a la compresión entrelazada en forma de S 29. Las realizaciones 31, 32, 33, 34 de las capas resistentes a la compresión 25 pueden estar hechas de un material compuesto, por ejemplo, de fibra de carbono extraída o, si las restricciones de peso permiten un peso mayor, también de, por ejemplo, acero de alta resistencia.

En g2) se muestra una posibilidad adicional de una realización de la capa resistente a la compresión 25: Una capa resistente a la compresión compuesta 35 que está hecha de un material compuesto con orientación de fibra unidireccional. Las fibras están dispuestas helicoidalmente alrededor del eje longitudinal del amarre 3 con un ángulo de inclinación en el intervalo de 1° a 20°, más preferentemente, en el intervalo de 5° a 10°. La capa resistente a la compresión compuesta 35 puede estar hecha, por ejemplo, de carbono, fibras de vidrio o aramida en resina epoxi o matriz termoplástica.

La capa de armadura de tracción 27 se puede implementar como se muestra en la subfigura a3) en forma de dos capas de elementos de armadura de tracción dispuestos helicoidalmente 36, 38 separados entre sí por una capa de deslizamiento/antifricción 37. Estos elementos de armadura de tracción 36, 38 están dispuestos helicoidalmente alrededor del eje central longitudinal del amarre 3 con un ángulo de inclinación en el intervalo de +/-35° a +/-65°. Pueden estar hechos de un material compuesto, por ejemplo, alambres de fibra de carbono extraída o, si las restricciones de peso permiten un peso mayor, también de, por ejemplo, acero de alta resistencia. Las dos capas de elementos de armadura de tracción 36, 38 pueden estar caracterizadas, en cada caso, por ejemplo, por la dirección en donde los respectivos elementos de armadura de tracción se enrollan alrededor del eje central longitudinal del amarre 3. Por ejemplo, los elementos de armadura de tracción 36 de la primera subcapa interna se pueden enrollar en el sentido de las agujas del reloj alrededor de la capa de deslizamiento/antifricción 26, y los elementos de armadura de tracción 38 de la segunda subcapa externa adyacente se pueden enrollar alrededor de la capa de deslizamiento/antifricción 37 en el lado opuesto, sentido contrario a las agujas del reloj, con el fin de igualar simétricamente las características mecánicas del amarre 3. De acuerdo con los requisitos de resistencia de tracción del amarre, pueden proporcionarse subcapas adicionales de elementos de armadura de tracción. La capa de deslizamiento/antifricción 37 pueden estar hecha, por ejemplo, en un material termoplástico como nailon 11 (PA11) o fluoropolímeros como politetrafluoretileno (PTFE).

La capa de armadura de tracción 27 también se puede implementar como se muestra en la subfigura b3) en forma de dos capas de capas compuestas de armadura de tracción 39, 41, que se pueden separar entre sí mediante una capa de deslizamiento/antifricción 40. Las capas compuestas de armadura de tracción 39, 41 están hechas de un material compuesto con orientación de fibra unidireccional. Las fibras están dispuestas helicoidalmente alrededor del eje longitudinal del amarre con un ángulo de inclinación en el intervalo de +/-35° a +/-65°. Las mismas consideraciones de disposición relativas a la orientación en sentido de las agujas del reloj respectivo en sentido contrario a las agujas del reloj también se pueden aplicar para las capas compuestas de armadura de tracción 39, 41 como para los elementos de armadura de tracción 36, 38, con el fin de obtener características mecánicas simétricamente igualadas del amarre 3. Las capas compuestas de armadura de tracción 39, 41 pueden estar hechas, por ejemplo, de carbono, fibras de vidrio o aramida en resina epoxi o matriz termoplástica. La capa de deslizamiento/antifricción 40 pueden estar hecha, por ejemplo, en un material termoplástico como nailon 11 (PA11) o fluoropolímeros como politetrafluoretileno (PTFE).

En otra realización, la capa de armadura de tracción 27 se puede realizar por medio de una cuerda de fibra química. La cuerda de fibra química puede estar hecha, por ejemplo, de aramida, Dyneema®, Vectran® o Zylon® y normalmente está trenzada en espiral. La cuerda de fibra química se puede estirar de forma irreversible, por ejemplo, cuando se aplica sobre la capa resistente a la compresión 25.

En las Figuras 10 y 11, se muestran otras posibles realizaciones del amarre de transmisión de energía eléctrica 3 de acuerdo con la invención. En estas realizaciones, que, por supuesto, se puede combinar con las realizaciones como se muestra en las Figuras 1 a 9, el sistema eléctrico del amarre 3 comprende una capa de protección conductora 44 y/o una o más capas de protección 45, 46. La capa de soporte de carga 10 comprende una capa resistente a la

compresión interna 25, una capa exterior de armadura de tracción 27 y una capa de deslizamiento/antifricción 26 están interpuestas entre la capa resistente a la compresión 25 y la capa de armadura de tracción 27.

La capa resistente a la compresión 25 se puede realizar, por ejemplo, en la forma que se muestra en la subfigura a4) por medio de elementos resistentes a la compresión en forma de anillo 42. Los elementos 42 resistentes a la compresión en forma de anillo están dispuestos alrededor de las capas interiores 4-9 y, si se proporcionan, las capas 44-46. Los elementos 42 de compresión en forma de anillo están hechos preferentemente de cerámica, material metálico o reforzado con fibra. Si está hecho de un material reforzado con fibra, la matriz puede ser, por ejemplo, un material termoestable o termoplástico.

En la realización como se muestra en la subfigura b4), cada uno de los elementos 42 resistentes a la compresión en forma de anillo comprende un revestimiento 47. El revestimiento 47, que reviste preferentemente por completo la superficie de los elementos 42 resistentes a la compresión en forma de anillo, puede estar hecho, por ejemplo, de un metal, con el fin de mejorar la protección del amarre 3 contra relámpagos. Como alternativa, el revestimiento 47 puede estar hecho de un material particularmente resistente al desgaste, con el fin de prolongar la vida útil del amarre 3.

En la realización como se muestra en la subfigura c4), los elementos de amortiguación axiales en forma de anillo 43 están dispuestos entre cada uno de dos elementos resistentes a la compresión en forma de anillo 42 adyacentes. Los elementos amortiguadores axiales en forma de anillo 43 que, por ejemplo, pueden estar hechos de poliuretano o de un elastómero de silicona, sirven para reducir el estrés local que actúa sobre los elementos resistentes a la compresión en forma de anillo 42. El estrés local que actúa sobre los elementos resistentes a la compresión en forma de anillo 42 puede ocurrir particularmente cuando se dobla el amarre 3 sobre un tambor, tal como el tambor 15 que se muestra en la Figura 1. Los elementos resistentes a la compresión en forma de anillo 42 de esta realización pueden comprender o no el revestimiento 47. Si hay presente un revestimiento 47 hecho de un metal para proteger el amarre 3 contra relámpagos y contra cargas electrostáticas, los elementos de amortiguación axiales en forma de anillo 43 también pueden estar hechos de un material eléctricamente conductor, por ejemplo, un elastómero conductor.

La capa resistente a la compresión 25 se puede realizar, también, en la forma que se muestra en la subfigura d4) por medio de elementos resistentes a la compresión escalonados en forma de anillo 54. Los elementos 54 resistentes a la compresión escalonados en forma de anillo están dispuestos alrededor de las capas interiores 4-9 y, si se proporcionan, las capas 44-46. Los elementos resistentes a la compresión escalonada en forma de anillo 54 están hechos preferentemente de un material metálico, cerámico o reforzado con fibra. Si está hecho de un material reforzado con fibra, la matriz puede ser, por ejemplo, un material termoestable o termoplástico. Si está hecho de un material eléctricamente no conductor, se puede aplicar un revestimiento metálico. Si está hecho de un material metálico, por ejemplo, se puede utilizar acero de alta resistencia o aleación de titanio. También se pueden utilizar aleaciones metálicas de alta resistencia con alta conductividad como el cobre berilio, con el fin de tener una capa conductora eléctrica adicional para protección contra relámpagos o para llevar una parte de la corriente que fluye a través de los conductores eléctricos 9 o, respectivamente, a través de la capa más externa de alambres conductores eléctricos.

En la realización como se muestra en la subfigura e4), los elementos de contacto/amortiguadores axiales escalonados en forma de anillo 55 están dispuestos entre cada uno de dos elementos resistentes a la compresión escalonados en forma de anillo 54 adyacentes. Los elementos de contacto/amortiguadores axiales escalonados en forma de anillo 55 que pueden estar hechos, por ejemplo, de poliuretano o de un elastómero de silicona sirven para reducir el estrés local que actúa sobre los elementos resistentes a la compresión escalonados en forma de anillo 54 similares al elemento de amortiguador axial en forma de anillo 43 de la realización mostrada en la subfigura c4). Si la capa resistente a la compresión 25 está destinada a ser conductora, los elementos de contacto/amortiguadores axiales escalonados en forma de anillo 55 pueden estar hechos de un material eléctricamente conductor como un cobre de berilio o termoplastos o elastómeros semiconductores similares, con el fin de conseguir un contacto eléctrico entre elementos resistentes a la compresión escalonados en forma de anillo 54 conductores eléctricos adyacentes.

La capa de protección del conductor 44 sirve para proteger el sistema eléctrico, es decir, los alambres metálicos de los conductores eléctricos 5 y 9, así como la capa de aislamiento 7 y las capas semiconductoras 6 y 9, de la humedad, compresión, fricción y/o desgaste. La capa 44 de protección del conductor puede o no estar dispuesta en forma simplemente de un espacio vacío entre las capas adyacentes.

Como se muestra en la realización ilustrada en la subfigura a5), la capa de protección del conductor 44 puede estar presente sin capas intermedias 45, 46. En este caso, la capa de protección del conductor 44 se puede adaptar para proporcionar una alta fricción estática, con el fin de evitar un deslizamiento relativo entre la capa 44 de protección del conductor y la capa resistente a la compresión 25. Entre la capa de protección del conductor 44 y la capa resistente a la compresión 25 se puede proporcionar un espacio anular, de tal modo que la capa 44 de protección del conductor esté suelta con respecto a la capa resistente a la compresión 25, cuando el amarre 3 está en una condición descargada. La provisión de tal hueco puede ser importante, por ejemplo, para la aplicación de la capa

resistente a la compresión 25 en las capas 4-9 y 44 durante la producción del amarre 3, particularmente si la capa 44 de protección del conductor es incompresible.

En la realización como se muestra en la subfigura b5), se proporciona una única capa amortiguadora 45 entre la capa de protección del conductor 44 y la capa resistente a la compresión 25. La capa amortiguadora 45 que llena el espacio entre la capa de protección del conductor 44 y la capa resistente a la compresión 25 puede estar hecha de un elastómero a base de espuma o de un material termoplástico que tenga una alta elasticidad. La capa amortiguadora 45 se puede exprimir previamente durante la producción del amarre 3, con el fin de llenar también el espacio entre la capa de protección del conductor 44 y la capa resistente a la compresión 25, cuando el amarre 3 está bajo tensión y, por consiguiente, comprimida radialmente. Además, o como alternativa, la capa amortiguadora 45 se puede adaptar para proporcionar una alta fricción estática, con el fin de evitar un deslizamiento relativo entre la capa de protección del conductor 44 y la capa resistente a la compresión 25, en particular, en el extremo superior del amarre 3 y, por lo tanto, evitar el estrés axial local en el sistema eléctrico.

En la realización como se muestra en la subfigura c5), se proporciona una única capa amortiguadora 46 que comprende una superficie de agarre. La superficie de agarre que se dirige radialmente hacia fuera hacia la capa resistente a la compresión 25 se realiza por medio de nervios axiales que se nervaduras a lo largo de toda la dirección longitudinal del amarre 3. Debido a su superficie de agarre, la capa amortiguadora 46 centra el sistema eléctrico 5-9 con la capa de protección del conductor 44 de una manera elástica dentro de la capa resistente a la compresión 25. Con el fin de compensar la reducción de diámetro del sistema eléctrico cuando se estira axialmente, la capa amortiguadora 46 se puede tensar previamente de manera correspondiente. Debido a que los espacios vacíos se proporcionan en dirección circunferencial entre las nervaduras de la superficie de agarre, se permite que el material elástico de la capa amortiguadora 46 se expanda y contraiga. En el presente caso, los espacios vacíos entre las nervaduras tienen la forma de un semicírculo en la vista en sección transversal, pero, por supuesto, también son concebibles otras formas de estos espacios vacíos. La capa amortiguadora 46 puede estar hecha de un elastómero, un elastómero de silicona o de un material de caucho con alta elasticidad.

En la Figura 12, se muestra una realización adicional de un amarre de transmisión de energía eléctrica 3 de acuerdo con la invención. Por razones de simplicidad, en la Figura 12 solo se ilustran las capas internas del amarre 3 hasta la capa de conductores eléctricos 9. Hay presente al menos otra capa en forma de capa de soporte de carga 10. Otras capas, tal como una capa amortiguadora 45 o 46, una capa de protección de conductores 44, una capa de bloqueo de la humedad 13, una capa de protección contra el desgaste 14 y/o capas de deslizamiento/antifricción 26, 28 se pueden proporcionar adicionalmente.

En la realización de acuerdo con la Figura 12, cada una de las capas de conductores eléctricos 5, 9 comprende dos subcapas de alambres metálicos. Entre las dos subcapas se proporciona en cada caso una capa deslizante/antifricción 48, 49, con el fin de reducir el desgaste y la fricción entre los alambres metálicos de las subcapas adyacentes y aumentar la vida útil del amarre 3 en vista del elevado número de ciclos de fatiga. La capa deslizante/antifricción 48, 49 puede estar hecha, por ejemplo, de politetrafluoroetileno (PTFE), nailon, un material termoplástico o Mylar®.

La figura 13 muestra una realización de un amarre de transmisión de energía eléctrica 3 de la invención, en donde se proporcionan posibilidades adicionales de proporcionar y disponer los conductores eléctricos 5 y 9. Como en realizaciones anteriores, las capas de los conductores eléctricos 5 y 9 están dispuestas entre el núcleo elástico 4 y la capa semiconductor 6 y entre la capa semiconductor 8 y la capa de soporte de carga 10, respectivamente.

De acuerdo con la subfigura a6), cada uno de los conductores eléctricos 5 y 9 puede comprender alambres metálicos 50 que están enrollados helicoidalmente alrededor de un único o, como se muestra en la subfigura a6), múltiples núcleos elásticos 51 con un ángulo de inclinación β de entre 15° y 60° . Los propios núcleos elásticos 51 están enrollados helicoidalmente alrededor del núcleo elástico central 4 con un ángulo de inclinación γ de entre 30° y 60° . Con una disposición de los alambres metálicos 50 de los conductores eléctricos 5, 9 como se muestra en la subfigura a6), se puede reducir el estrés que actúa sobre los alambres metálicos 50, con el fin de lograr una mayor vida útil del amarre 3.

La subfigura b6) muestra una realización en donde cada una de las capas de conductores eléctricos 5, 9 comprende alambres 52 metálicos que están enrollados helicoidalmente alrededor del eje longitudinal del amarre 3 con un ángulo de inclinación α y que están revestidos con un revestimiento antifricción/aislante 53. Uno, varios o todos los alambres metálicos 52 de cada capa de conductores eléctricos 5, 9 pueden revestirse. La propiedad antifricción del revestimiento 53 sirve para aumentar la vida útil de los conductores eléctricos 5, 9 que normalmente están expuestos a fricciones repetidas. La propiedad de aislamiento eléctrico que puede estar presente de forma alternativa o adicional a la propiedad antifricción sirve para detectar la rotura del alambre y ayuda a determinar el final de la vida útil del amarre 3. La rotura del alambre se puede detectar midiendo la resistencia eléctrica de uno de los alambres 52 aislados. Cuando uno de los alambres 52 se rompe, la resistencia eléctrica del alambre respectivo aumenta significativamente. En algunos casos, en donde los alambres de una capa de conductores eléctricos 5, 9 no están aislados entre sí, la conductividad entre alambres conduce a cambios apenas detectables en la resistencia de los alambres. Sin embargo, en estos casos, las altas cargas de tracción que actúan sobre el amarre 3 pueden conducir

fácilmente a una interrupción eléctrica parcial o completa en una de las capas de conductores eléctricos 5, 9 a lo largo de la dirección longitudinal del amarre 3. En este caso, un arco eléctrico o un aumento repentino de la temperatura en la parte debilitada eléctricamente pueden evolucionar y destruir el amarre 3. El material del revestimiento antifricción/aislante 53 puede ser, por ejemplo, PTFE, un material termoplástico, Etileno propileno fluorado (Teflon® FEP), Mylar® o barniz.

Por supuesto, la invención no se limita a las realizaciones anteriormente presentadas y es posible una pluralidad de modificaciones. Por ejemplo, es posible que el amarre 3 tenga capas adicionales que no se han mencionado aquí. El cable de fibra óptica 11 o cualquier otro cable de comunicación de datos podría, por ejemplo, disponerse en una capa adicional específicamente dedicada a la comunicación de datos en lugar de estar previsto dentro del núcleo elástico 4. Los cables de fibra óptica también pueden disponerse helicoidalmente con un ángulo de inclinación óptimo de 25° a 45°, más preferentemente, con un ángulo de inclinación en el intervalo de 30° a 40°. También sería posible tener capas conductoras de electricidad adicionales con alambres metálicos. Por ejemplo, se podría proporcionar una tercera capa conductora de alambres metálicos para permitir que la potencia eléctrica trifásica con una configuración Delta sea transmitida por el amarre o, incluso, se podría proporcionar una tercera y una cuarta capa conductora de alambres metálicos para permitir que la potencia eléctrica trifásica con una configuración Y sea transmitida por el amarre. La capa conductora radialmente más externa podría adaptarse para protección contra relámpagos. Por supuesto, también es concebible tener, además de la primera y segunda capas conductoras de alambres metálicos 5 y 9, una capa conductora separada específicamente adaptada para la protección contra relámpagos, que en este caso estaría dispuesta preferentemente fuera de la primera y segunda capas conductoras y estaría ventajosamente aislada contra estas capas por medio de un material termoplástico de alta temperatura, tal como Teflon®. Se prefieren, sin embargo, debido a restricciones de peso, las realizaciones como se muestran en las figuras 2 y 3, en donde el amarre 3 solo comprende las capas como se muestran en estas figuras, sin capas adicionales. La estación terrestre 2 podría comprender opcionalmente un dispositivo para absorber las fuerzas de tracción del amarre 3 antes de ser enrollada en el tambor 15, con el fin de evitar que la carga de tracción provocada por la estación de potencia eólica 1 actúe sobre el tambor 15. Adicionalmente, se puede proporcionar una capa amortiguadora adicional entre la segunda capa de alambres metálicos 9 y la capa deslizante 13, con el fin de permitir diferentes contracciones radiales de la capa de soporte de carga 10 y la segunda capa de alambres metálicos 9, sin dañar el amarre 3. La capa amortiguadora puede comprender, por ejemplo, un material de espuma, tal como gomaespuma hecha de, por ejemplo, neopreno, butilo, caucho de nitrilo o caucho de silicona. Es posible una pluralidad de modificaciones adicionales.

NÚMEROS DE REFERENCIA

1	Estación de potencia eólica	capa
2	Estación terrestre	32 Capa resistente a la compresión en forma de T
3	Amarre	
4	Núcleo elástico	33 Capa resistente a la compresión inclinada
5	Conductores eléctricos	
6	Capa semiconductor	34 Capa resistente a la compresión plana
7	Capa aislante	35 Capa resistente a la compresión compuesta
8	Capa semiconductor	
9	Conductores eléctricos	36 Elementos de armadura de tracción
10	Capa de soporte de carga	37 Capa antideslizante/antifricción
11	Cable de fibra óptica	38 Elementos de armadura de tracción
12	Hebras	39 Capa compuesta de armadura de tracción
13	Capa de bloqueo de humedad/capa de deslizamiento	40 Capa antideslizante/antifricción
14	Capa de protección contra el desgaste	41 Capa compuesta de armadura de tracción
15	Tambor	42 Elemento resistente a la compresión en forma de anillo
16	Generador eléctrico	43 Elemento amortiguador axial en forma de anillo
17	Capa amortiguadora elástica	
18	Elemento de armadura de tracción	44 Capa de protección del conductor
19	Elemento de armadura de tracción	45 Capa amortiguadora del sistema eléctrico
20	Perfiles de armadura de tracción	46 Capa amortiguadora del sistema eléctrico con superficie de agarre
21	Perfiles de armadura de tracción	
22	Capa compuesta de armadura de tracción	47 Revestimiento sobre elemento resistente a la compresión en forma de anillo
23	Capa compuesta de armadura de tracción	
24	Capa antideslizante/antifricción	48 Capa antideslizante/antifricción
25	Capa resistente a la compresión	49 Capa antideslizante/antifricción
26	Capa antideslizante/antifricción	50 Alambres metálicos
27	Capa de armadura de tracción	51 Núcleo elástico
28	Capa antideslizante/antifricción	52 Alambres metálicos

(continuación)

- | | | | |
|----|---|----|---|
| 29 | Capa resistente a la compresión entrelazada en forma de S | 53 | Revestimiento antifricción/aislante |
| 30 | Capa resistente a la compresión entrelazada en forma de Z | 54 | Elemento resistente a la compresión escalonado en forma de anillo |
| 31 | Resistente a la compresión en forma de Z | 55 | Elemento de contacto/amortiguador axial escalonado en forma de anillo |

REIVINDICACIONES

1. Un amarre de transmisión de energía eléctrica (3), que comprende

- 5 una primera capa de uno o más conductores eléctricos enrollados helicoidalmente (5);
una capa de aislamiento eléctrico (7) que rodea la primera capa de conductores eléctricos (5);
una segunda capa de uno o más conductores eléctricos (9) enrollados helicoidalmente alrededor de la capa de
aislamiento eléctrico (7);
una capa de soporte de carga (10) para absorber las fuerzas de tracción que actúan sobre el amarre (3),
10 comprendiendo la capa de soporte de carga (10) dos subcapas; y
una primera capa semiconductora (6) dispuesta entre la primera capa de conductores eléctricos (5) y la capa de
aislamiento eléctrico (7),
donde la capa de soporte de carga (10) rodea la segunda capa de conductores eléctricos (9) y define la
elongación axial máxima del amarre (3) bajo una carga de tracción máxima esperada,
15 **caracterizado por que**
el amarre (3) es adecuado para una estación de potencia eólica aerotransportada (1) y comprende un núcleo
elástico (4) alrededor del cual el uno o más conductores eléctricos (5) de la primera capa de uno o más
conductores eléctricos (5) se enrollan helicoidalmente, por que la capa de soporte de carga (10) también es
adecuada para absorber fuerzas de compresión radiales que actúan sobre el amarre (3), y por que una de las
20 subcapas de la capa de soporte de carga (10) es una capa resistente a la compresión (25) específicamente
adaptada para absorber fuerzas de compresión radiales y la otra es una capa de armadura de tracción (27)
específicamente adaptada para absorber fuerzas de tracción.
- 25 2. El amarre según lo reivindicado en la reivindicación 1, donde la capa de soporte de carga (10) se puede reforzar
con elementos alargados, en particular, fibras.
3. El amarre según lo reivindicado en la reivindicación 2, donde los elementos alargados están enrollados
helicoidalmente alrededor de la segunda capa de conductores eléctricos (9).
- 30 4. El amarre según lo reivindicado en una de las reivindicaciones anteriores, donde la capa de soporte de carga (10)
comprende una capa de deslizamiento/antifricción (26) que está dispuesta entre la capa resistente a la compresión
(25) y la capa de armadura de tracción (27).
- 35 5. El amarre según lo reivindicado en una de las reivindicaciones anteriores, donde los conductores eléctricos de la
primera capa de conductores eléctricos (5) y/o los conductores eléctricos de la segunda capa de conductores
eléctricos (9) están enrollados con un ángulo de inclinación helicoidal en la región de entre 25° y 45°, en particular,
de entre 30° y 40°.
- 40 6. El amarre según lo reivindicado en una de las reivindicaciones anteriores, donde la primera capa de conductores
eléctricos (5) y/o la segunda capa de conductores eléctricos (9) están formadas por alambres trenzados.
7. El amarre según lo reivindicado en una de las reivindicaciones anteriores, donde la primera capa de conductores
eléctricos (5) y/o la segunda capa de conductores eléctricos (9) comprenden, cada una, varias subcapas adyacentes
de alambres enrollados helicoidalmente, estando los alambres de las subcapas adyacentes enrollados en
45 direcciones opuestas.
8. El amarre según lo reivindicado en una de las reivindicaciones anteriores, donde, con respecto a la dirección
longitudinal del amarre (3), la capa de soporte de carga (10) tiene una rigidez de tracción que es mayor que la rigidez
de tracción eficaz total del núcleo elástico (4), de la primera y segunda capa de conductores eléctricos (5, 9) y de la
50 capa de aislamiento eléctrico (7) juntas.
9. El amarre según lo reivindicado en una de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el amarre (3)
adicionalmente al menos un cable de transmisión de datos (11), en particular, un cable de fibra óptica (11), dispuesto
dentro del núcleo elástico (4).
- 55 10. El amarre según lo reivindicado en una de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo además el amarre (3)
una segunda capa semiconductora (8) dispuesta entre la capa de aislamiento eléctrico (7) y la segunda capa de
conductores eléctricos (9).
- 60 11. El amarre según lo reivindicado en una de las reivindicaciones anteriores, donde se proporciona una barrera
contra la humedad y/o una capa deslizante (13) entre la segunda capa de conductores eléctricos (9) y la capa de
soporte de carga (10).
- 65 12. El amarre según lo reivindicado en una de las reivindicaciones anteriores, donde se proporciona una capa de
protección contra el desgaste (14) que rodea la capa de soporte de carga (10).

13. Una unidad de amarre que comprende un amarre según lo reivindicado en una de las reivindicaciones anteriores y un tambor para enrollar el amarre.
- 5 14. La unidad amarre según lo reivindicado en la reivindicación 13, donde el amarre tiene un primer radio exterior y el tambor comprende una superficie periférica para acomodar el amarre (3) con un segundo radio exterior, y donde la relación del primer radio externo con respecto al segundo radio externo es de al menos 0,3 % y no más de 5 %, en particular, de al menos 0,5 % y no más de 3 %.
- 10 15. Una unidad de potencia que comprende una estación de potencia eólica aerotransportada (1), una estación terrestre (2) y al menos un amarre según lo reivindicado en una de las reivindicaciones 1 a 12 para conectar la estación de potencia eólica aerotransportada (1) a la estación terrestre (2) tanto física como eléctricamente.

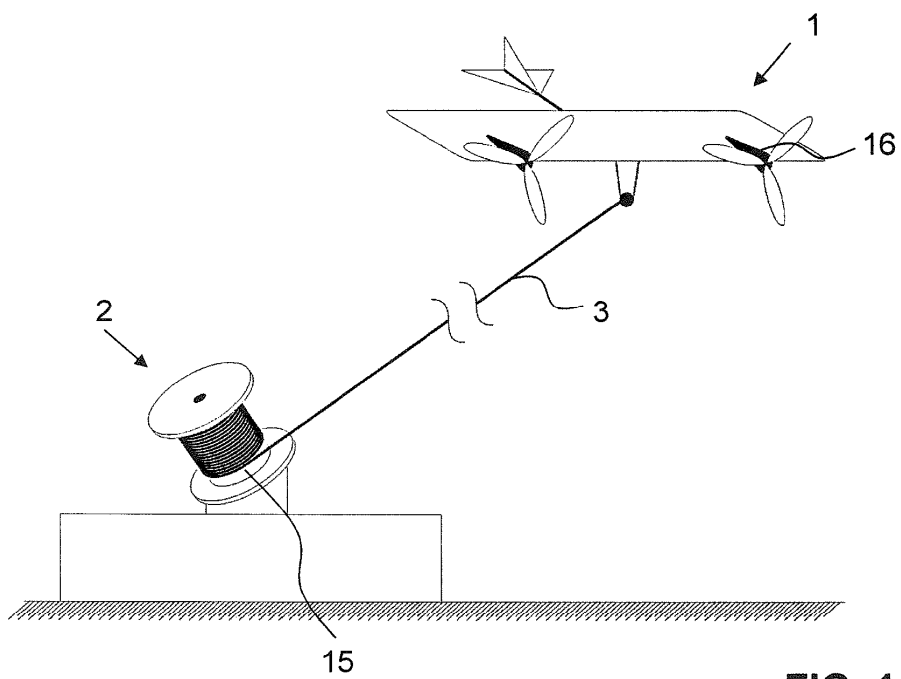


FIG. 1

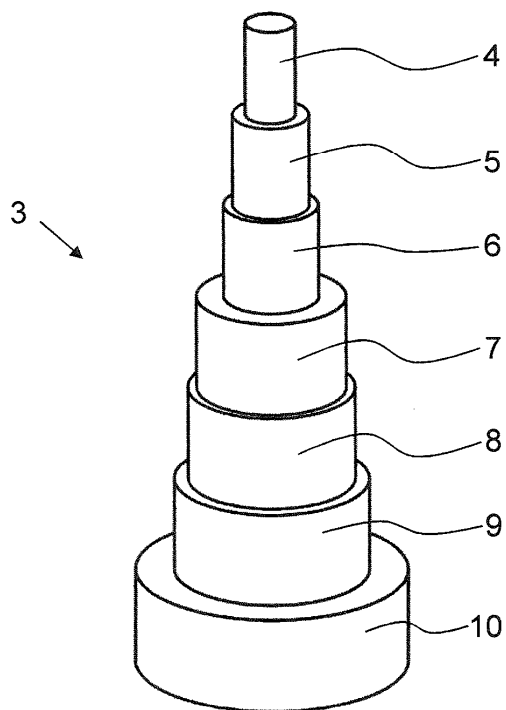


FIG. 2

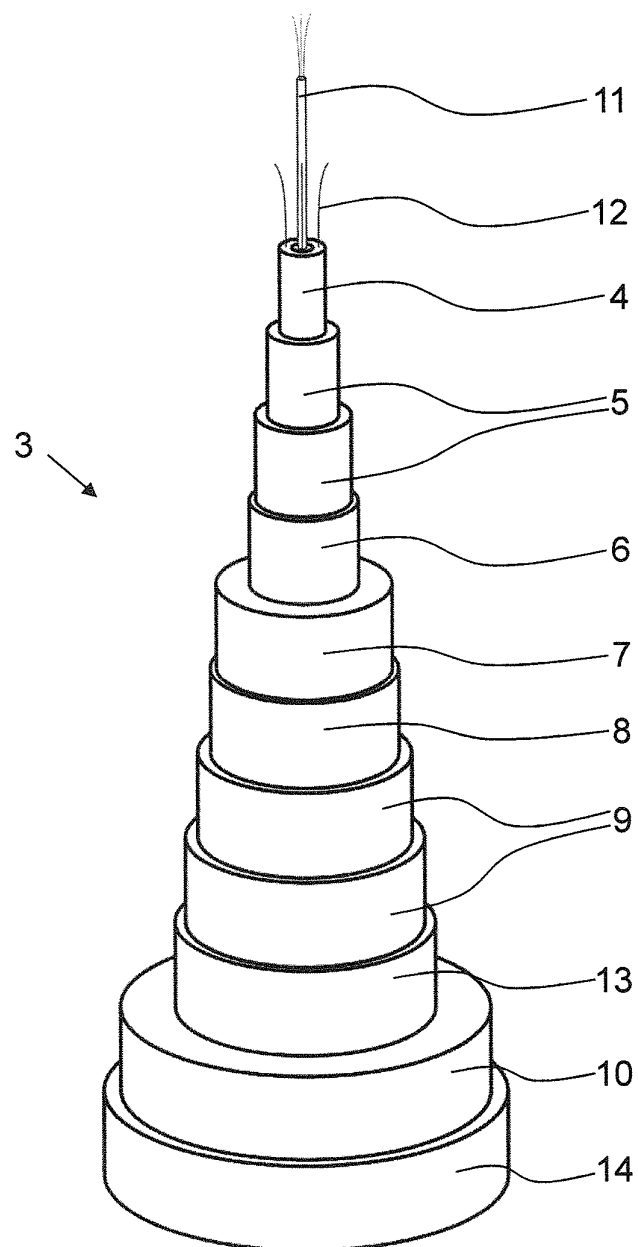


FIG. 3

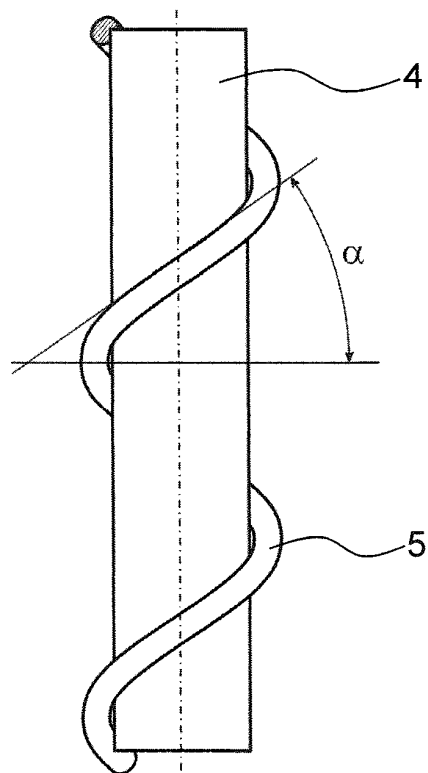


FIG. 4

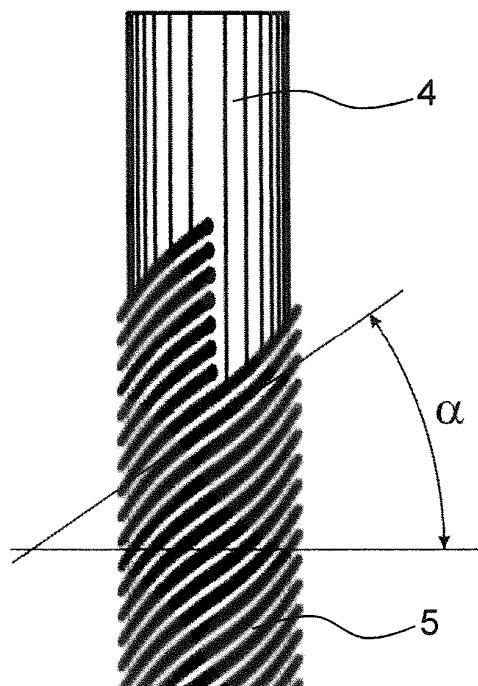


FIG. 5

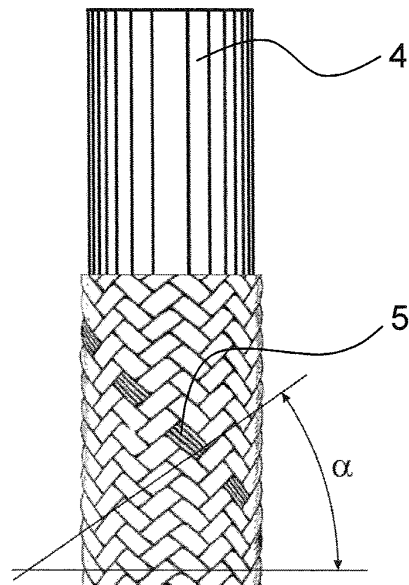


FIG. 6

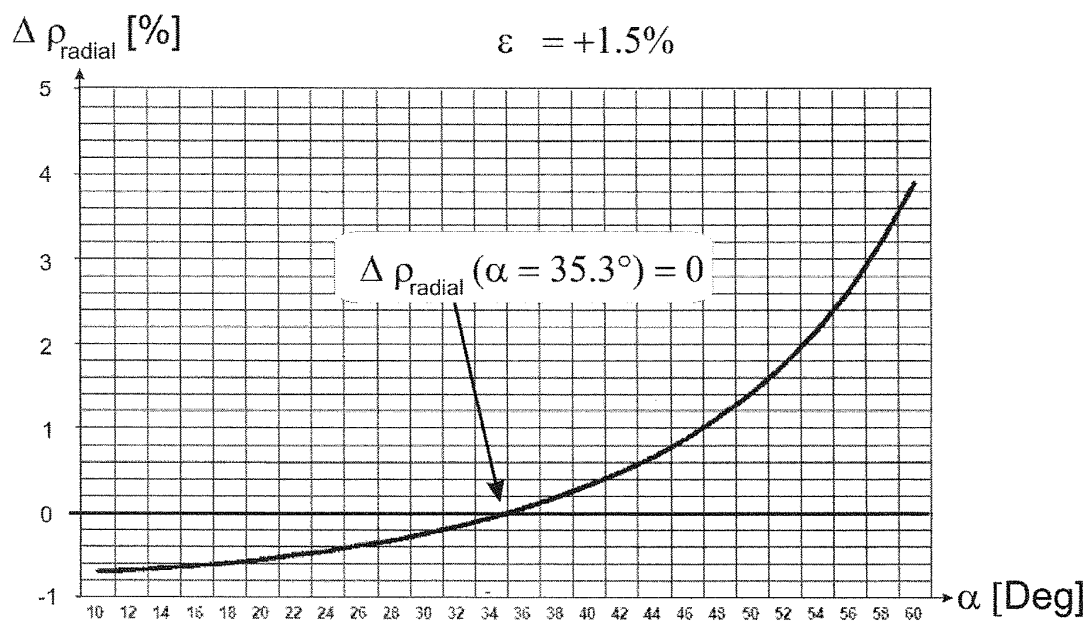


FIG. 7

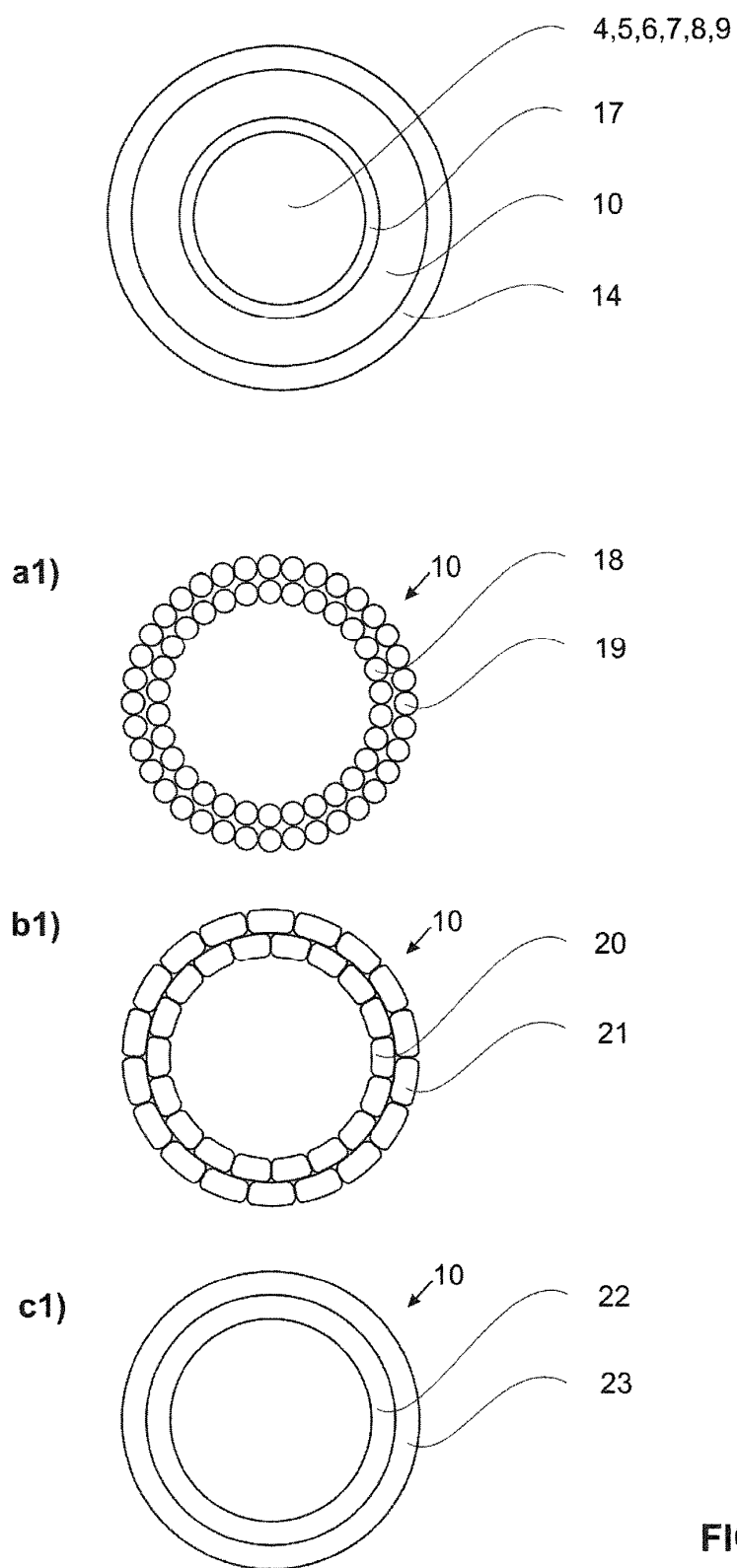


FIG. 8

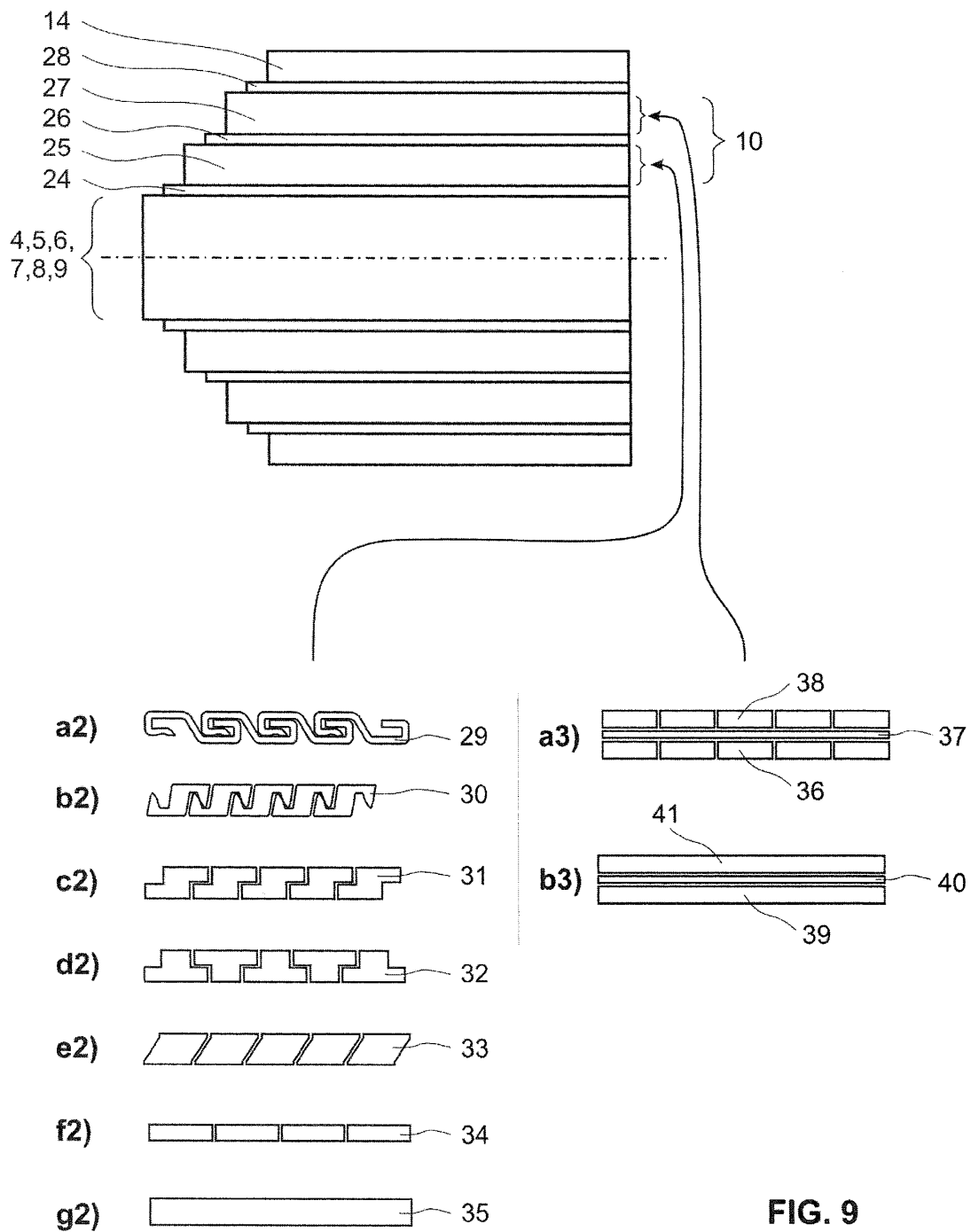


FIG. 9

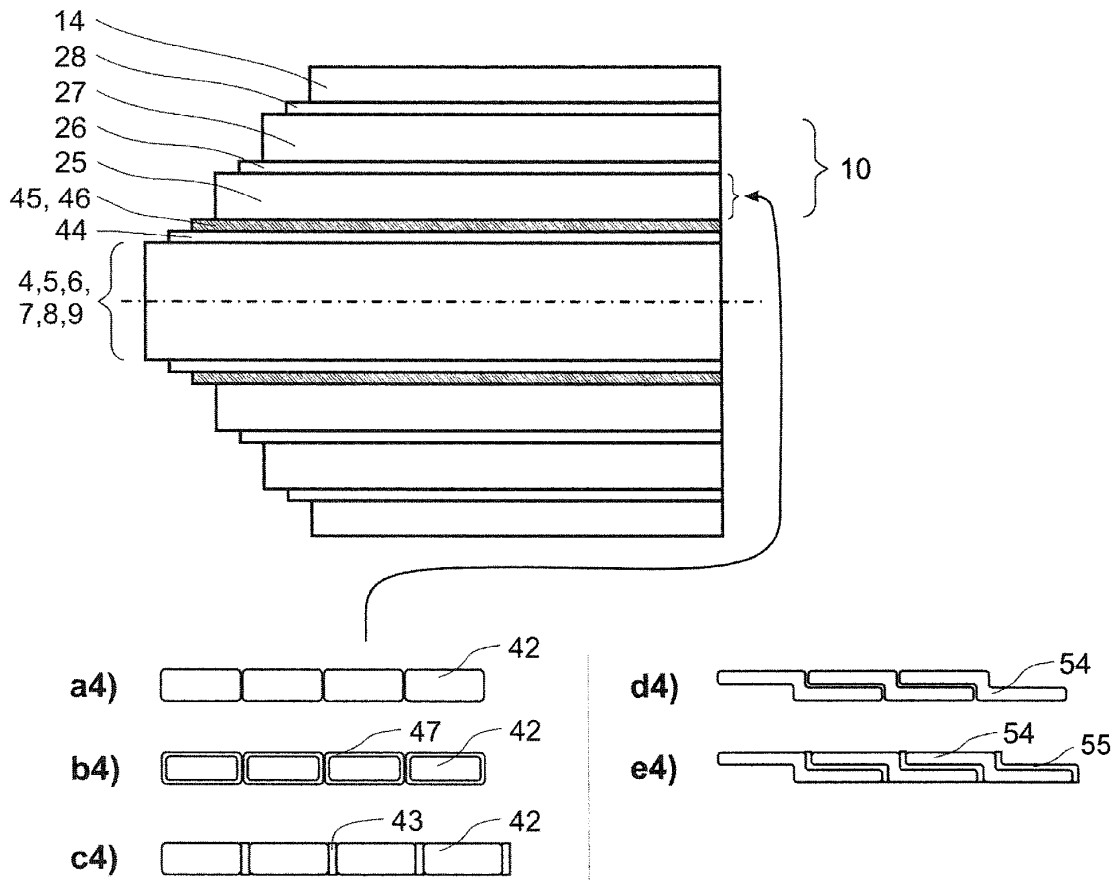


FIG. 10

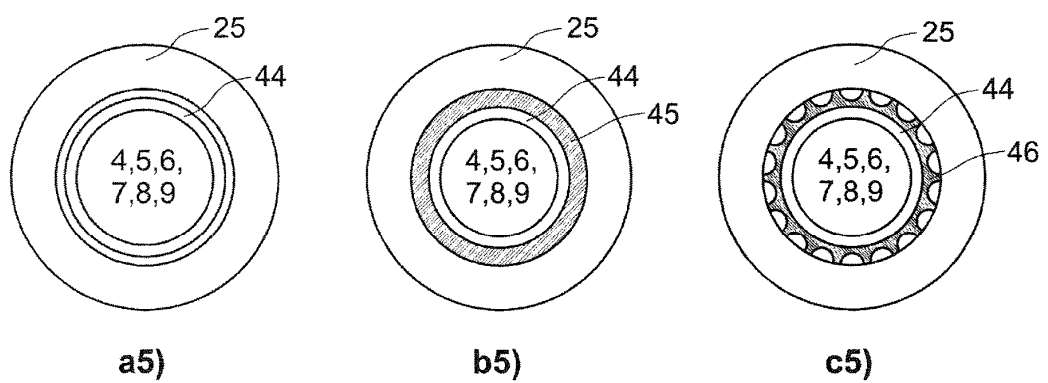


FIG. 11

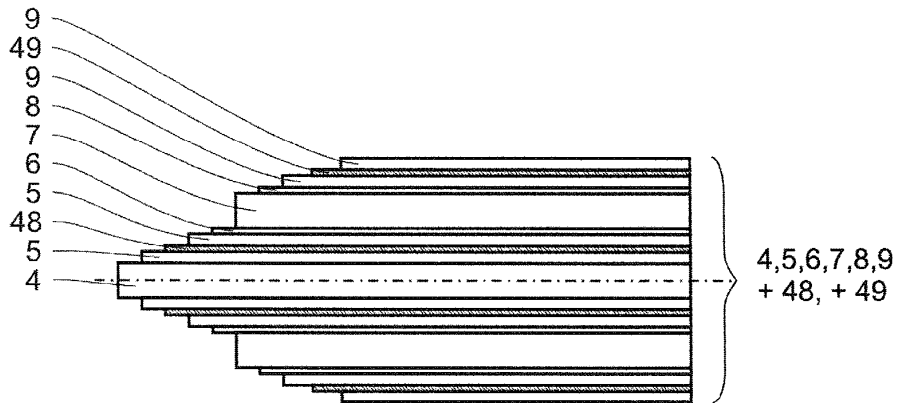


FIG. 12

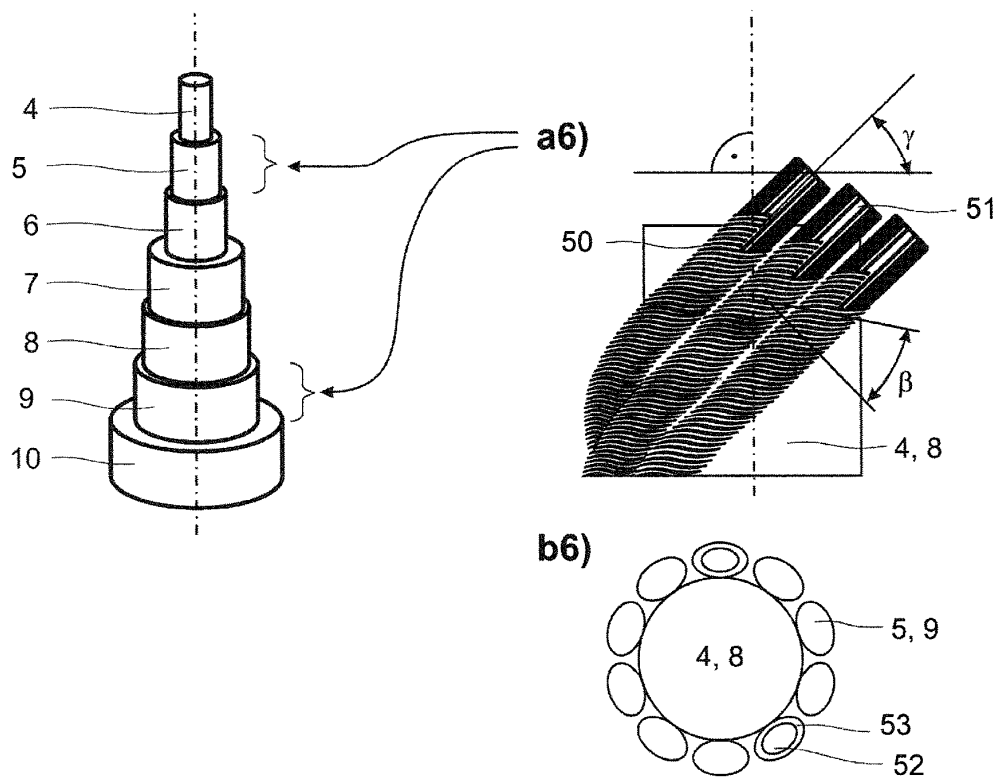


FIG. 13