

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 008 085**

51 Int. Cl.:

F03D 80/30 (2006.01)

H02G 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.07.2021** **E 21382729 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2024** **EP 4124753**

54 Título: **Sistema de derivación de rayos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
21.03.2025

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

GRACIA SUBERVIOLA, RAUL

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu

ES 3 008 085 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de derivación de rayos

5 Campo

[0001] La presente divulgación se refiere a sistemas de derivación de rayos y procedimientos para proporcionar un sistema de derivación de rayos y, más en particular se refiere a sistemas de derivación de rayos para turbinas eólicas y procedimientos asociados. La presente divulgación se refiere además a conjuntos de buje de rotor de turbina eólica.

Antecedentes

[0002] Las turbinas eólicas se usan ampliamente para convertir la potencia eólica en electricidad. La electricidad generada se puede suministrar a una red eléctrica y dirigirse a los consumidores. Las turbinas eólicas comprenden, en general, una torre encima de la que se monta una góndola. Un rotor que comprende un buje de rotor, o buje, y una pluralidad de palas están montados, en general, de forma rotatoria con respecto a la góndola. La pluralidad de palas usa las fuerzas aerodinámicas generadas por el viento para producir un par de torsión neto positivo en un eje rotatorio, lo que da como resultado la producción de potencia mecánica que, a continuación, se transforma en electricidad en un generador.

[0003] Las palas se pueden conectar directamente al buje de rotor o se pueden conectar a través de un rodamiento de *pitch*. Un sistema de *pitch* puede hacer rotar una pala por su eje longitudinal, lo que permite modificar el ángulo de ataque de la pala de turbina eólica con respecto al flujo de aire incidente. De este modo se pueden controlar las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre la pala.

[0004] Las turbinas eólicas han evolucionado rápidamente durante las últimas décadas y los componentes de turbinas eólicas se han modificado para soportar mayores cargas y condiciones climáticas adversas. Debido a la altura y exposición de las turbinas eólicas, es importante proporcionarles sistemas de protección contra rayos eficaces para evacuar las descargas de rayos desde la ubicación de impacto del rayo hasta el suelo sin afectar los componentes eléctricos o estructurales de la turbina eólica.

[0005] En general, los sistemas de protección contra rayos incluyen un receptor de rayos proporcionado en una pala de turbina eólica para conducir la descarga de rayos hasta una conexión a tierra por medio de un conductor de bajada de rayos ("*lightning down conductor*") proporcionado dentro de la pala. Uno de los principales problemas de los sistemas de protección contra rayos conocidos es cómo conducir la descarga de rayos desde el conductor de bajada en la pala hasta una conexión a tierra proporcionada en el buje de rotor de turbina eólica, la góndola o la torre.

[0006] En general, se usan descargadores de chispas y/o escobillas eléctricas con este objetivo, proporcionando una trayectoria eléctrica entre los componentes móviles de turbina eólica, tales como la raíz de pala de turbina eólica y el buje de rotor y/o el buje de rotor y la góndola. Sin embargo, estos enfoques presentan algunas desventajas. Proporcionar descargadores de chispas en una pala no es una solución trivial. Estos sistemas comprenden al menos dos tiras conductoras dispuestas cercanas entre sí para proporcionar una conexión conductora entre ellas para evitar una conexión entre componentes de turbina eólica, por ejemplo, la conexión de raíz de pala al buje de rotor. En dichos sistemas de descargadores de chispas, el conductor de bajada de rayo puede necesitar pasar a través de la pared del cuerpo de pala o a través de la brida de raíz de pala para entrar en contacto con la primera tira conductora y, por lo tanto, en algunos casos, se debe proporcionar un orificio pasante en la raíz de pala. Dicho orificio pasante puede tener un impacto negativo en la estabilidad estructural de la pala, requiriendo un refuerzo de pala adicional. Además, el orificio pasante se debe sellar una vez que se ha insertado el conductor de bajada para impedir cualquier fuga al interior de la pala. Además de las desventajas mencionadas anteriormente, se debe llevar a cabo un mantenimiento periódico del sistema de descargador de chispas para garantizar la limpieza y el espacio de holgura preciso.

[0007] Además, un potencial mal funcionamiento del sistema de protección contra rayos debido a la desalineación de sus componentes, debido a la acumulación de residuos de depósito atmosférico y/o al desgaste de los componentes puede favorecer que la descarga de rayos no siga la trayectoria eléctrica establecida hacia tierra sino una trayectoria menos resistiva a través de otros componentes de turbina eólica. Esto implica que los componentes eléctricos y/o estructurales, tales como los rodamientos de *pitch* de pala, pueden actuar como conductores de descargas de rayos, acortando gravemente su vida útil e incurriendo en altos costes de reemplazo. Los documentos EP2855929 A1 y EP2795122 B1 son ejemplos de técnica anterior de turbinas eólicas que comprenden un sistema de descarga de rayos.

[0008] La presente divulgación proporciona procedimientos y sistemas para superar al menos parcialmente algunas de las desventajas mencionadas anteriormente.

Breve explicación

[0009] En un aspecto de la presente divulgación, se proporciona un sistema de derivación de rayos para una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1. El sistema de derivación de rayos comprende un conjunto de conector que incluye un conector de pala que comprende un material eléctricamente aislante. Además, el conector de pala comprende un primer extremo configurado para conectarse eléctricamente a un cable conductor de bajada de la pala y un segundo extremo configurado para conducir una descarga de rayo a un buje de rotor de la turbina eólica. El conector de pala comprende además un núcleo de material eléctricamente conductor configurado para conectarse eléctricamente al primer extremo y al segundo extremo. El conector de pala está configurado para ubicarse sustancialmente en un eje de rotación de una raíz de pala de una pala de turbina eólica.

[0010] De acuerdo con este aspecto, el hecho de que el conector de pala esté ubicado sustancialmente en un eje de rotación de la raíz de pala permite un diseño de sistema de derivación de rayos compacto y sólido, en el que la rotación de la pala para modificar el ángulo de *pitch* de pala no genera un movimiento relativo entre componentes del sistema de derivación de rayos. Esto permite ajustar la longitud de los elementos conductores asociados al sistema para rayos y establecer una trayectoria conductora que no cambie su ubicación interna dentro de la pala con el ángulo de *pitch* de pala. Ambos aspectos dan lugar a una conexión más segura y permiten usar el espacio interno de pala y rotor más eficazmente.

[0011] Además, de esta manera, el sistema evita cualquier componente de pala estructural y eléctrico no destinado para recibir la descarga de rayos y, en particular, el rodamiento de *pitch*. Por tanto, los componentes del sistema de rodamiento de *pitch* están protegidos de fuertes gradientes de temperatura y se puede potenciar su vida útil.

[0012] En un aspecto adicional, se proporciona un procedimiento para proporcionar un sistema de conjunto de derivación de rayos de acuerdo con la reivindicación 13. El procedimiento comprende proporcionar un conector de pala fabricado de un material eléctricamente aislante ubicado sustancialmente en un eje de rotación de una raíz de pala de la turbina eólica. El conector de pala comprende un primer extremo, un segundo extremo y un núcleo de material eléctricamente conductor conectado eléctricamente al primer extremo y al segundo extremo. El procedimiento comprende además conectar el primer extremo del conector de pala a un cable conductor de bajada de un receptor de rayos de una pala, proporcionar una conexión rotatoria entre el primer extremo y el segundo extremo del conector de pala, y acoplar de forma conductora el conector de pala a un sistema de puesta a tierra de rayos de una turbina eólica.

[0013] En otro aspecto de la presente divulgación, se proporciona un conjunto de buje de turbina eólica. El conjunto incluye un buje de rotor de turbina eólica, al menos una pala de turbina eólica y un sistema de derivación de rayos. La pala de turbina eólica comprende una raíz de pala, y el sistema de derivación de rayos comprende un conector de pala que comprende un material eléctricamente aislante fijado a la pala de turbina eólica y ubicado sustancialmente en un eje de rotación de la raíz de pala de la turbina eólica, y un conector de buje fabricado de un material eléctricamente aislante fijado al buje de rotor de la turbina eólica. Además, el conector de pala comprende un primer extremo configurado para conectarse eléctricamente a un cable conductor de bajada de la pala, un segundo extremo configurado para conducir una descarga de rayo al conector de buje y un núcleo de material eléctricamente conductor configurado para conectar eléctricamente el primer extremo y el segundo extremo, en el que el segundo extremo es rotatorio con respecto al primer extremo.

[0014] Los objetivos, ventajas y características adicionales de los ejemplos de la presente divulgación se harán evidentes para los expertos en la técnica tras el examen de la descripción, o se pueden aprender por la práctica de la divulgación.

[0015] Por toda la presente divulgación, y con respecto a los diversos ejemplos divulgados en el presente documento, cabe destacar que la parte de raíz de pala se podría acoplar directamente a un buje de rotor, a extensores de buje de rotor, a rodamientos de *pitch* o a cualquier otro elemento del buje de rotor conocido en la técnica para este propósito.

[0016] Los materiales eléctricamente aislantes como se usa por toda la presente divulgación se puede entender que se refieren a materiales en los que la corriente eléctrica no fluye libremente. Los aislantes eléctricos tienen una alta resistividad eléctrica. Los cauchos, el vidrio y los plásticos son ejemplos de aislantes eléctricos. Los materiales eléctricamente conductores como se usa por toda la presente divulgación se pueden entenderse como materiales que permiten el flujo de corriente eléctrica. Los materiales eléctricamente conductores tienen una baja resistividad eléctrica. Los cables o alambres de cobre y aluminio son ejemplos de conductores eléctricos.

Breve descripción de los dibujos

[0017]

La figura 1 ilustra esquemáticamente una vista en perspectiva de un ejemplo de una turbina eólica;

la figura 2 ilustra un ejemplo de un buje y una góndola de una turbina eólica;

la figura 3 ilustra esquemáticamente una vista en sección transversal de un conjunto de rotor de turbina eólica que comprende un ejemplo de un sistema de derivación de rayos de acuerdo con la presente divulgación;

la figura 4 es una vista en sección transversal detallada que ilustra esquemáticamente un conjunto de rotor de turbina eólica que comprende otro ejemplo de un sistema de derivación de rayos de acuerdo con la presente divulgación;

la figura 5 ilustra esquemáticamente una vista en sección transversal de un conjunto de rotor y góndola de turbina eólica que comprende otro ejemplo de un sistema de derivación de rayos de acuerdo con la presente divulgación; y

la figura 6 ilustra esquemáticamente un diagrama de flujo de un ejemplo de un procedimiento para proporcionar un conjunto de pala de turbina eólica.

Descripción detallada de los ejemplos

[0018] Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la divulgación, de los que se ilustran uno o más ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la divulgación, no como una limitación de la misma. De hecho, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones sin apartarse del alcance de la presente divulgación como se define en las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de un modo de realización se pueden usar con otro modo de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente divulgación cubra dichas modificaciones y variaciones que entran dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

[0019] La figura 1 es una vista en perspectiva de un ejemplo de una turbina eólica 10. En el ejemplo, la turbina eólica 10 es una turbina eólica de eje horizontal. De forma alternativa, la turbina eólica 10 puede ser una turbina eólica de eje vertical. En el ejemplo, la turbina eólica 10 incluye una torre 15 que se extiende desde un sistema de soporte 14 en un suelo 12, una góndola 16 montada en la torre 15 y un rotor 18 que está acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje rotatorio 20 y al menos una pala de rotor 22 acoplada a y que se extiende hacia afuera desde el buje 20. En el ejemplo, el rotor 18 tiene tres palas de rotor 22. En un modo de realización alternativo, el rotor 18 incluye más o menos de tres palas de rotor 22. La torre 15 se puede fabricar de acero tubular para definir una cavidad (no mostrada en la figura 1) entre un sistema de soporte 14 y la góndola 16. En un modo de realización alternativo, la torre 15 es cualquier tipo adecuado de torre que tenga cualquier altura adecuada. De acuerdo con una alternativa, la torre puede ser una torre híbrida que comprenda una parte hecha de hormigón y una parte de acero tubular. Además, la torre puede ser una torre de celosía parcial o completa.

[0020] Las palas de rotor 22 están espaciadas alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para posibilitar que la energía cinética se transfiera del viento para convertirse en energía mecánica utilizable y, posteriormente, en energía eléctrica. Las palas de rotor 22 se engranan al buje 20 acoplando una parte de raíz de pala 24 al buje 20 en una pluralidad de regiones de transferencia de carga 26. Las regiones de transferencia de carga 26 pueden tener una región de transferencia de carga de buje y una región de transferencia de carga de pala (ninguna mostrada en la figura 1). Las cargas inducidas en las palas de rotor 22 se transfieren al buje 20 por medio de las regiones de transferencia de carga 26.

[0021] En ejemplos, las palas de rotor 22 pueden tener una longitud que varía de aproximadamente 15 metros (m) a aproximadamente 90 m o más. Las palas de rotor 22 pueden tener cualquier longitud adecuada que posibilite que la turbina eólica 10 funcione como se describe en el presente documento. Por ejemplo, ejemplos no limitantes de longitudes de pala incluyen 20 m o menos, 37 m, 48,7 m, 50,2 m, 52,2 m o una longitud que sea mayor de 91 m. Cuando el viento golpea las palas de rotor 22 desde una dirección del viento 28, el rotor 18 rota alrededor de un eje de rotor 30. A medida que las palas de rotor 22 rotan y se someten a fuerzas centrífugas, las palas de rotor 22 también se someten a diversas fuerzas y momentos. Como tales, las palas de rotor 22 se pueden desviar y/o rotar desde una posición neutra, o no desviada, a una posición desviada.

[0022] Además, un ángulo de *pitch* de las palas de rotor 22, es decir, un ángulo que determina una orientación de las palas de rotor 22 con respecto a la dirección del viento, se puede cambiar por un sistema de *pitch* 32 para controlar la carga y potencia generada por la turbina eólica 10 ajustando una posición angular de al menos una pala de rotor 22 en relación con los vectores de viento. Se muestran los ejes de *pitch* 34 de las palas de rotor 22. Durante el funcionamiento de la turbina eólica 10, el sistema de *pitch* 32 puede cambiar, en particular, un ángulo de *pitch* de las palas de rotor 22 de modo que el ángulo de ataque de (partes de) las palas de rotor se reduzca, lo que facilita la reducción de una velocidad de rotación y/o facilita una entrada en pérdida del rotor 18.

[0023] En el ejemplo, un *pitch* de pala de cada pala de rotor 22 se controla individualmente por un controlador de turbina eólica 36 o por un sistema de control de *pitch* 80. De forma alternativa, el *pitch* de pala para todas las palas de rotor 22 se puede controlar simultáneamente por dichos sistemas de control.

[0024] Además, en el ejemplo, a medida que cambia la dirección del viento 28, se puede rotar una dirección de orientación (*yaw*) de la góndola 16 alrededor de un eje de orientación 38 para situar las palas de rotor 22 con respecto a la dirección del viento 28.

[0025] En el ejemplo, el controlador de turbina eólica 36 se muestra como estando centralizado dentro de la góndola 16, sin embargo, el controlador de turbina eólica 36 puede ser un sistema distribuido por toda la turbina eólica 10, en el sistema de soporte 14, dentro de un parque eólico, y/o en un centro de control remoto. El controlador de turbina eólica 36 incluye un procesador 40 configurado para realizar los procedimientos y/o etapas descritos en el presente documento. Además, muchos de los demás componentes descritos en el presente documento incluyen un procesador.

[0026] Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no se limita a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como ordenador, sino que se refiere ampliamente a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables, y estos términos se usan de manera intercambiable en el presente documento. Se debe entender que un procesador y/o un sistema de control también pueden incluir memoria, canales de entrada y/o canales de salida.

[0027] La figura 2 es una vista en sección ampliada de una parte de la turbina eólica 10. En el ejemplo, la turbina eólica 10 incluye la góndola 16 y el rotor 18 que se acopla de forma rotatoria a la góndola 16. Más específicamente, el buje 20 del rotor 18 se acopla de forma rotatoria a un generador eléctrico 42 situado dentro de la góndola 16 por el eje principal 44, una caja de engranajes 46, un eje rápido 48 y un acoplamiento 50. En el ejemplo, el eje principal 44 está dispuesto al menos parcialmente coaxial a un eje longitudinal (no mostrado) de la góndola 16. Una rotación del eje principal 44 acciona la caja de engranajes 46 que, posteriormente, acciona el eje rápido 48 traduciendo el movimiento de rotación relativamente lento del rotor 18 y del eje principal 44 en un movimiento de rotación relativamente rápido del eje rápido 48. Este último se conecta al generador 42 para generar energía eléctrica con la ayuda de un acoplamiento 50. Además, se pueden disponer un transformador 90 y/o electrónica, conmutadores y/o inversores adecuados en la góndola 16 para transformar energía eléctrica generada por el generador 42 que tenga un voltaje de entre 400 V a 1000 V en energía eléctrica que tenga voltaje medio (10 - 35 KV). Dicha energía eléctrica se conduce por medio de cables de alimentación desde la góndola 16 hasta la torre 15.

[0028] La caja de engranajes 46, el generador 42 y el transformador 90 se pueden soportar por un bastidor de estructura de soporte principal de la góndola 16, opcionalmente realizado como un bastidor principal 52. La caja de engranajes 46 puede incluir una carcasa de caja de engranajes que se conecta al bastidor principal 52 por uno o más brazos de par de torsión 103. En el ejemplo, la góndola 16 también incluye un rodamiento de soporte delantero principal 60 y un rodamiento de soporte posterior principal 62. Además, el generador 42 se puede montar en el bastidor principal 52 desacoplando los medios de soporte 54, en particular, para evitar que las vibraciones del generador 42 se introduzcan en el bastidor principal 52 y, de este modo, provoquen una fuente de emisión de ruido.

[0029] Opcionalmente, el bastidor principal 52 está configurado para llevar toda la carga provocada por el peso del rotor 18 y los componentes de la góndola 16 y por las cargas del viento y de rotación y, además, para introducir estas cargas en la torre 15 de la turbina eólica 10. El eje de rotor 44, generador 42, caja de engranajes 46, eje rápido 48, acoplamiento 50 y cualquier dispositivo de sujeción, soporte y/o fijación asociado incluyendo, pero sin limitarse a, el soporte 52, y rodamiento de soporte delantero 60 y rodamiento de soporte posterior 62, a veces se denominan tren de potencia 64.

[0030] En algunos ejemplos, la turbina eólica puede ser una turbina eólica de accionamiento directo sin caja de engranajes 46. El generador 42 funciona a la misma velocidad de rotación que el rotor 18 en turbinas eólicas de accionamiento directo. Por lo tanto, en general, tienen un diámetro mucho mayor que los generadores usados en turbinas eólicas que tienen una caja de engranajes 46 para proporcionar una cantidad de potencia similar que una turbina eólica con una caja de engranajes.

[0031] La góndola 16 también puede incluir un mecanismo de accionamiento de orientación 56 ("*yaw drive mechanism*") que se puede usar para rotar la góndola 16 y, de este modo, también el rotor 18 alrededor del eje de orientación 38 para controlar la perspectiva de las palas de rotor 22 con respecto a la dirección del viento 28.

[0032] Para situar la góndola 16 apropiadamente con respecto a la dirección del viento 28, la góndola 16 también puede incluir al menos un sistema de medición meteorológica 58 que puede incluir una veleta y un anemómetro. El sistema de medición meteorológica 58 puede proporcionar información al controlador de turbina eólica 36 que puede incluir la dirección del viento 28 y/o la velocidad del viento. En el ejemplo, el sistema de *pitch* 32 está dispuesto al menos parcialmente como un conjunto de *pitch* 66 en el buje 20. El conjunto de *pitch* 66 incluye uno

o más sistemas de accionamiento de *pitch* 68 y al menos un sensor 70. Cada sistema de accionamiento de *pitch* 68 está acoplado a una respectiva pala de rotor 22 (mostrada en la figura 1) para modular el ángulo de *pitch* de una pala de rotor 22 a lo largo del eje de *pitch* 34. Solo uno de los tres sistemas de accionamiento de *pitch* 68 se muestra en la figura 2.

[0033] En el ejemplo, el conjunto de *pitch* 66 incluye al menos un rodamiento de *pitch* 72 acoplado al buje 20 y a una respectiva pala de rotor 22 (mostrada en la figura 1) para rotar la respectiva pala de rotor 22 alrededor del eje de *pitch* 34. El sistema de accionamiento de *pitch* 68 incluye un motor de accionamiento de *pitch* 74, una caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76 y un piñón de accionamiento de *pitch* 78. El motor de accionamiento de *pitch* 74 está acoplado a la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76 de modo que el motor de accionamiento de *pitch* 74 confiera fuerza mecánica a la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76. La caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76 está acoplada al piñón de accionamiento de *pitch* 78 de modo que el piñón de accionamiento de *pitch* 78 rote por la caja de engranajes de accionamiento de *pitch* 76. El rodamiento de *pitch* 72 está acoplado al piñón de accionamiento de *pitch* 78 de modo que la rotación del piñón de accionamiento de *pitch* 78 provoque una rotación del rodamiento de *pitch* 72.

[0034] El sistema de accionamiento de *pitch* 68 se acopla al controlador de turbina eólica 36 para ajustar el ángulo de *pitch* de una pala de rotor 22 tras recibir una o más señales desde el controlador de turbina eólica 36. En el ejemplo, el motor de accionamiento de *pitch* 74 es cualquier motor adecuado accionado por potencia eléctrica y/o un sistema hidráulico que posibilita que el conjunto de *pitch* 66 funcione como se describe en el presente documento. De forma alternativa, el conjunto de *pitch* 66 puede incluir cualquier estructura, configuración, disposición y/o componentes adecuados, tales como, pero sin limitarse a, cilindros hidráulicos, resortes y/o servomecanismos. En determinados modos de realización, el motor de accionamiento de *pitch* 74 se acciona por la energía extraída de una inercia de rotación del buje 20 y/o una fuente de energía almacenada (no mostrada) que suministra energía a los componentes de la turbina eólica 10.

[0035] El conjunto de *pitch* 66 también puede incluir uno o más sistemas de control de *pitch* 80 para controlar el sistema de accionamiento de *pitch* 68 de acuerdo con señales de control del controlador de turbina eólica 36, en caso de situaciones prioritarias específicas y/o durante la sobrevelocidad del rotor 18. En el ejemplo, el conjunto de *pitch* 66 incluye al menos un sistema de control de *pitch* 80 acoplado de forma comunicativa a un respectivo sistema de accionamiento de *pitch* 68 para controlar el sistema de accionamiento de *pitch* 68 independientemente del controlador de turbina eólica 36. En el ejemplo, el sistema de control de *pitch* 80 está acoplado al sistema de accionamiento de *pitch* 68 y a un sensor 70. Durante el funcionamiento normal de la turbina eólica 10, el controlador de turbina eólica 36 puede controlar el sistema de accionamiento de *pitch* 68 para ajustar un ángulo de *pitch* de las palas de rotor 22.

[0036] De acuerdo con un modo de realización, un generador de potencia 84, que comprende, por ejemplo, una batería y condensadores eléctricos, está dispuesto en o dentro del buje 20 y está acoplado al sensor 70, el sistema de control de *pitch* 80 y al sistema de accionamiento de *pitch* 68 para proporcionar una fuente de potencia a estos componentes. En el ejemplo, el generador de potencia 84 proporciona una fuente de potencia continua al conjunto de *pitch* 66 durante el funcionamiento de la turbina eólica 10. En un modo de realización alternativo, el generador de potencia 84 proporciona potencia al conjunto de *pitch* 66 solo durante un evento de pérdida de potencia eléctrica de la turbina eólica 10. El evento de pérdida de potencia eléctrica puede incluir pérdida o caída de red de potencia, mal funcionamiento de un sistema eléctrico de la turbina eólica 10 y/o fallo del controlador de turbina eólica 36. Durante el evento de pérdida de potencia eléctrica, el generador de potencia 84 funciona para proporcionar potencia eléctrica al conjunto de *pitch* 66 de modo que el conjunto de *pitch* 66 pueda funcionar durante el evento de pérdida de potencia eléctrica.

[0037] En el ejemplo, el sistema de accionamiento de *pitch* 68, el sensor 70, el sistema de control de *pitch* 80, los cables y el generador de potencia 84 se sitúan cada uno en una cavidad 86 definida por una superficie interior 88 del buje 20. En un modo de realización alternativo, dichos componentes se sitúan con respecto a una superficie exterior del buje 20 y se pueden acoplar, directa o indirectamente, a la superficie exterior.

[0038] La figura 3 es una vista en sección transversal esquemática de un buje de rotor de turbina eólica que comprende un ejemplo de un sistema de derivación de rayos. Nótese que el espesor de las paredes internas se ha incluido esquemáticamente y que la intersección de los cuerpos sólidos con el plano de corte no se ha indicado con rayado con el único objetivo de reducir el desorden.

[0039] La figura 3 muestra un sistema de derivación de rayos para una pala 22 de una turbina eólica, comprendiendo el sistema de derivación de rayos un conector de pala 110 que comprende un material eléctricamente aislante 114 y configurado para ubicarse sustancialmente en un eje de rotación R de una raíz de pala 24 de una pala de turbina eólica. El conector de pala 110 comprende un primer extremo 111 configurado para conectarse eléctricamente a un cable conductor de bajada 100 de la pala 22, un segundo extremo 112 configurado para conducir una descarga de rayo a un buje 20 de la turbina eólica y un núcleo 113 de material eléctricamente conductor configurado para conectarse eléctricamente al primer extremo 111 y al segundo extremo 112.

[0040] El conector de pala comprende un elemento de sujeción eléctricamente aislante 114 para conectar el conector de pala 110 a la raíz de pala, en particular una brida de pala, una placa dispuesta en la raíz de pala o similar. El elemento de sujeción eléctricamente aislante 114 puede ser un casquillo.

[0041] Además, la figura 3 muestra que el segundo extremo 112 del conector de pala 110 puede ser rotatorio con respecto al primer extremo. En el ejemplo ilustrado, el segundo extremo 112 del conector de pala 110 incluye un conector de perno de argolla ("*eye bolt connector*") rotatorio 115. Sin embargo, también se pueden usar otros tipos de conectores.

[0042] En los ejemplos, el sistema de derivación de rayos puede comprender además una conexión eléctrica entre el segundo extremo del conector de pala y una góndola de turbina eólica. La conexión eléctrica rotatoria puede comprender una superficie conductora, una escobilla para proporcionar contacto eléctrico con la superficie conductora, y estando el segundo extremo del conector de pala conectado eléctricamente a una de la superficie conductora y la escobilla. La conexión eléctrica a la superficie conductora o escobilla puede ser directa (por ejemplo, un cable directo) o indirecta (a través de otros conectores, interfaces y elementos).

[0043] Además, la figura 3 muestra que el conjunto de conector puede comprender además un conector de buje 120 fabricado de un material eléctricamente aislante 123 y fijado al buje 20 de la turbina eólica. El conector de buje 120 también puede comprender un núcleo 121 de material eléctricamente conductor, conectado eléctricamente al segundo extremo 112 del conector de pala 110 a través de un elemento conductor 116.

[0044] El elemento conductor puede definir una trayectoria de conexión 200. Nótese que la trayectoria de conexión 200 se ha ilustrado conceptualmente con líneas quebradas. En el ejemplo ilustrado de la figura 3, el conector de buje 120 está acoplado eléctricamente a un sistema de puesta a tierra 129; sin embargo, también son posibles otras disposiciones. Por ejemplo, en situaciones en las que el conector de buje 120 no está presente, el sistema de puesta a tierra 129 se puede acoplar de forma alternativa al segundo extremo 112 del conector de buje 110.

[0045] El conector del buje 123 puede incluir un elemento de sujeción fabricado de un material eléctricamente aislante para conectarse a una parte del buje. El elemento de sujeción 123 puede ser un casquillo.

[0046] La figura 3 también muestra una vista parcial de una pala de turbina eólica que comprende el sistema de derivación de rayos previamente divulgado. Más en particular, la figura 3 ilustra la parte de raíz de pala 24 de una pala de turbina eólica y la disposición del sistema de derivación de rayos dentro de la misma. Además, en este ejemplo, la pala de turbina eólica comprende además al menos una barra transversal 301 ubicada a través de la raíz de pala 24 para fijar el conector de pala 110 sustancialmente en el eje de rotación R de la raíz de la pala 24. De forma alternativa, también se puede usar una extensión de una brida de pala 300 u otras alternativas para fijar el conector de pala 110 en su lugar. Como ejemplo, la pala de turbina eólica también o de forma alternativa puede comprender un refuerzo de raíz de pala o una brida de pala 300 que cubra sustancialmente la raíz de pala completa. En el ejemplo mostrado, la pala de turbina eólica comprende tanto un refuerzo o brida 300 como una barra transversal 301 que conecta lados diametralmente opuestos de la misma y fija el conector de pala 110 en su lugar.

[0047] La figura 4 muestra una vista detallada de otro ejemplo de un conjunto de derivación de rayos en el que varios componentes, tales como el sistema de puesta a tierra, no se han ilustrado para reducir el desorden. Esta figura muestra un ejemplo de la trayectoria de conexión entre el conector de pala 110 y el conector de buje 120 divulgado previamente. En este ejemplo, el elemento conductor 116 es una eslinga metálica que puede incluir una cubierta de material eléctricamente aislante para proteger otros componentes de la corriente que puede fluir a través de ella durante la descarga de rayos. También se pueden usar otros tipos de elementos conductores, tales como varillas metálicas o cables. Además, la figura 3 muestra que el conector de buje 120 también puede comprender un conector de perno de argolla 122 para proporcionar libertad de rotación adicional y reducir las tensiones de torsión en los elementos de conexión.

[0048] El conector de perno de argolla 122 (en ambos ejemplos de las figuras 3 y 5) se puede montar de forma rotatoria en un casquillo eléctricamente aislante 123. De forma similar, el conector de perno de argolla 115 se puede montarse de forma rotatoria en un casquillo eléctricamente aislante 114.

[0049] En los ejemplos, el elemento conductor 116 puede definir una trayectoria de conexión que sirve como guía para haces de cables adicionales 201. En el presente ejemplo, el haz de cables 201 puede ser un haz de cables (por ejemplo, cables de fibra óptica) conectados a sensores en la pala. Los sensores y cables pueden formar parte de subsistemas de turbina eólica (es decir, sistema de monitorización de pala, sistema de monitorización de rayos, sistema de deshielo, sistema para rayos de aviación de pala) que se extienden desde la raíz de pala 24 hasta el buje de rotor 20 siguiendo dicha trayectoria de conexión. El haz de cables 201 se puede acoplar al elemento conductor 116 por medio de elementos de sujeción 202 y/o se puede guiar por los conectores de pala y buje 110, 120.

[0050] La figura 5 es una vista en sección transversal esquemática de un buje de rotor de turbina eólica y una góndola que comprende aún otro ejemplo de un sistema de derivación de rayos. La conexión entre el conductor de bajada desde la pala hacia el buje, en general, puede ser la misma o similar al ejemplo ilustrado en las figuras 3 y 4.

[0051] En el ejemplo mostrado en la figura 5, el sistema de derivación de rayos comprende además una conexión eléctrica rotatoria entre el segundo extremo 112 del conector de pala 110 y una góndola de turbina eólica 16. La conexión eléctrica rotatoria comprende una superficie conductora 126 y una escobilla 128 para proporcionar contacto eléctrico con la superficie conductora 126. El sistema de derivación de rayos comprende además una conexión conductora al segundo extremo 112 del conector de pala 110 y a una de la superficie conductora 126 y la escobilla 128. En el ejemplo mostrado, un cable conductor 125 está conectado físicamente a un conector de buje 120, que de la manera descrita anteriormente con referencia a las figuras 3 y 4, está conectado al conector de pala 110 y al sistema de protección contra rayos en la pala. Sin embargo, se podría omitir el conector de buje 120 y acoplar el cable conductor 125 directamente al conector de pala 110.

[0052] En el ejemplo de la figura 5, la superficie conductora 126 está fijada al buje de turbina eólica 20 y la escobilla 28 está fijada a la góndola de turbina eólica 16 y proporciona una trayectoria eléctrica entre el buje de turbina eólica rotatorio 20 y la góndola de turbina eólica 16.

[0053] La superficie conductora 126 en el presente ejemplo está asegurada al buje de rotor 20 por medio de soportes no conductores 127 para evitar que la descarga de rayos se transfiera al buje de rotor 20 y, por lo tanto, impedir que la descarga de rayos pase a través de los rodamientos de rotor 21'. La escobilla 128 se puede asegurar a la góndola 16 siguiendo un enfoque similar, aunque en esta figura no se han representado los soportes correspondientes para reducir el desorden. De forma alternativa, la superficie conductora 126 se puede fijar a la góndola de turbina eólica 16 y la escobilla 128 se puede asegurar a un buje de turbina eólica 20 para proporcionar una trayectoria eléctrica entre el buje de turbina eólica 20 y la góndola de turbina eólica 16.

[0054] En el ejemplo ilustrado, la superficie conductora 126 es un disco metálico anular, aunque la geometría de este elemento se puede adaptar a requisitos específicos del sistema para rayos.

[0055] En otro aspecto, la figura 5 también muestra un conjunto de buje de turbina eólica que incluye un buje de rotor de turbina eólica 20, al menos una pala de turbina eólica 22 y un sistema de derivación de rayos. La pala de turbina eólica 22 comprende una raíz de pala 24, y el sistema de derivación de rayos comprende un conector de pala 110 fabricado de un material eléctricamente aislante 114 fijado a la pala de turbina eólica y ubicado sustancialmente en un eje de rotación R de la raíz de pala 24 de la turbina eólica, y un conector de buje 120 fabricado de un material eléctricamente aislante 123 fijado al buje de rotor 20 de la turbina eólica. El conector de pala 110 comprende un primer extremo 111 configurado para conectarse eléctricamente a un cable conductor de bajada 100 de la pala, un segundo extremo 112 configurado para conducir una descarga de rayos al conector de buje 120 y un núcleo 113 de material eléctricamente conductor configurado para conectar eléctricamente el primer extremo 111 con el segundo extremo 112, en el que el segundo extremo 112 es rotatorio con respecto al primer extremo.

[0056] El conector de pala comprende un casquillo fabricado de un material eléctricamente aislante.

[0057] Además, el conjunto de buje de turbina eólica puede incluir un conector de buje 120 que comprende un núcleo 121 de material eléctricamente conductor, conectado eléctricamente al segundo extremo 112 del conector de pala 110 a través de un elemento conductor 116, definiendo el elemento conductor una trayectoria de conexión 200.

[0058] El conjunto del buje de turbina eólica puede comprender además una superficie conductora 126 fijada al buje de rotor de turbina eólica 20. En los ejemplos, el conjunto puede comprender además una escobilla 128 para proporcionar contacto eléctrico con la superficie conductora 126, y un cable conductor 125 conectado eléctricamente al conector de buje 120 y a la superficie conductora 126. La escobilla 128 está asegurada a una góndola de turbina eólica 16 y proporciona una trayectoria eléctrica entre el buje de rotor de turbina eólica 20 y la góndola de turbina eólica 16.

[0059] Además, la figura 5 ilustra que el buje de rotor 20 se puede montar en un bastidor 21 a través de rodamientos de buje 21', formando una conexión rotatoria entre el buje y el bastidor. El bastidor 21 que soporta el buje de rotor 20 se puede conectar a otro bastidor u otro soporte estructural en la góndola 16.

[0060] En los ejemplos, el buje de rotor se puede conectar a un eje de rotor a través de un acoplamiento flexible. El acoplamiento flexible se puede configurar para transmitir cargas de torsión, pero para impedir la transmisión de cargas de flexión (o al menos reducir la transmisión de las mismas). El eje de rotor puede accionar un generador directamente o puede formar el eje lento que forma el eje de entrada de una caja de engranajes.

[0061] En el ejemplo de la figura 5, se ilustra esquemáticamente una turbina eólica de accionamiento directo. En este ejemplo, el buje de rotor 20 se puede unir a una estructura exterior 162, que puede incluir o estar conectada a un rotor de generador. Por tanto, la estructura exterior 162 puede rotar alrededor de una estructura interior de góndola 161, que puede incluir o formar el estátor de generador.

[0062] La figura 6 muestra otro ejemplo del sistema para rayos de acuerdo con la presente divulgación en una configuración de turbina eólica que comprende un eje de rotor principal 44 sobre el que está montado el buje de rotor 20. El eje principal 44 está configurado para accionar y se puede acoplar operativamente a un eje de un rotor de generador, directa o bien indirectamente. En este ejemplo, el eje de rotor 44 está soportado de forma rotatoria en la góndola 16 por medio de rodamientos principales 25.

[0063] Por lo tanto, el sistema para rayos de acuerdo con la presente divulgación es adecuado para una amplia gama de configuraciones de turbinas eólicas, es decir, turbinas eólicas de accionamiento directo o turbinas eólicas que comprenden un sistema de caja de engranajes, entre otros.

[0064] En otro aspecto de la divulgación, se proporciona un procedimiento 600. El procedimiento 600 es adecuado para proporcionar un sistema de derivación de rayos. El procedimiento 600 se ilustra esquemáticamente en la figura 7.

[0065] El procedimiento comprende, en el bloque 601, proporcionar un conector de pala 110 que comprende un material eléctricamente aislante 114 ubicado sustancialmente en un eje de rotación R de una raíz de pala 24 de (una pala de turbina eólica de) la turbina eólica, en el que el conector de pala 110 comprende un primer extremo 111, un segundo extremo 112 y un núcleo 113 de material eléctricamente conductor conectado eléctricamente al primer extremo 111 y al segundo extremo 112. El conector de pala 110 puede ser o comprender un casquillo aislado eléctricamente.

[0066] El procedimiento 600 también comprende, en el bloque 602, conectar el primer extremo 111 del conector de pala 110 a un cable conductor de bajada 100 conectado a un receptor de rayos de una pala. Además, el procedimiento 600 comprende, en el bloque 603, proporcionar una conexión rotatoria entre el primer extremo 111 y el segundo extremo 112 del conector de pala 110. La conexión rotatoria se puede proporcionar, por ejemplo, por medio de un conector de perno de argolla 115 ubicado en el segundo extremo 112 del conector de pala 110.

[0067] Además, el procedimiento 600, en el bloque 604, comprende acoplar de forma conductora el segundo extremo del conector de pala a un sistema de puesta a tierra de rayos 129 de una turbina eólica.

[0068] En los ejemplos, el procedimiento 600 para proporcionar un sistema de derivación de rayos puede comprender proporcionar una superficie conductora 126 fijada a uno de un buje de rotor de turbina eólica 20 y una góndola de turbina eólica 16 y aislada eléctricamente de los mismos. Además, puede comprender proporcionar una escobilla 128 para contacto eléctrico con la superficie conductora 126, estando asegurada la escobilla 128 al otro del buje de rotor de turbina eólica 20 y la góndola de turbina 16 donde está fijada la superficie conductora 126, proporcionando una trayectoria eléctrica entre el buje de turbina eólica 20 y una góndola de turbina eólica 16; y acoplando de forma conductora un cable 125 desde el segundo extremo 112 del conector de pala 110 a la superficie conductora 126.

[0069] En ejemplos adicionales, el procedimiento 600 puede comprender proporcionar un conector de buje 120 fabricado de un material eléctricamente aislante 123 fijado al buje 20 de la turbina eólica; en el que el conector de buje 120 comprende un núcleo 121 de material eléctricamente conductor; acoplar de forma conductora el segundo extremo 112 del conector de pala 110 al conector de buje 120 a través de un elemento conductor 116, definiendo el elemento conductor 116 una trayectoria de conexión 200; y guiar un haz de cables 201 a lo largo de la trayectoria de conexión 200 definida por el elemento conductor 116. El haz de cables 201 puede ser parte de un subsistema de pala, tal como un sistema de monitorización de pala, un sistema de monitorización de rayos, un sistema de deshielo o un sistema para rayos de aviación de pala, entre otros.

[0070] Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la enseñanza, incluyendo los modos de realización preferentes y, también, para posibilitar que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la enseñanza divulgada en el presente documento, incluyendo la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y realización de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Se pretende que dichos otros ejemplos estén dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias no sustanciales de los lenguajes literales de las reivindicaciones. Si los signos de referencia relacionados con los dibujos están colocados entre paréntesis en una reivindicación, son exclusivamente para intentar incrementar la inteligibilidad de la reivindicación y no se interpretarán como limitantes del alcance de la reivindicación.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de derivación de rayos para una pala (22) de una turbina eólica (10), comprendiendo el sistema de derivación de rayos:
5 un conector de pala (110) que comprende un material eléctricamente aislante (114) y configurado para ubicarse sustancialmente en un eje de rotación (R) de una raíz de pala (24) de una pala de turbina eólica (22);
10 en el que
el conector de pala (110) comprende un primer extremo (111) configurado para conectarse eléctricamente a un cable conductor de bajada (100) de la pala (22), un segundo extremo (112) configurado para conducir una descarga de rayo a un buje de rotor (20) de la turbina eólica (10) y un núcleo (113) de material eléctricamente conductor configurado para conectarse eléctricamente al primer extremo (111) y al segundo extremo (112), **caracterizado por que** el conector de pala (110) comprende un elemento de sujeción eléctricamente aislante (114) para conectar el conector de pala (110) a la raíz de pala (24); y en el que
20 el primer extremo (111) y el segundo extremo (112) del conector de pala (110) forman una conexión rotatoria.
2. El sistema de derivación de rayos de acuerdo con la reivindicación 1, en el que al menos el segundo extremo (112) del conector de pala (110) incluye un conector de perno de argolla rotatorio (115).
- 25 3. El sistema de derivación de rayos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 2, en el que el sistema comprende además una conexión eléctrica rotatoria entre el segundo extremo (112) del conector de pala (110) y una góndola de turbina eólica (16); comprendiendo la conexión eléctrica rotatoria:
30 una superficie conductora (126),
una escobilla (128) para proporcionar contacto eléctrico con la superficie conductora (126), y
el segundo extremo (112) del conector de pala (110) estando conectado eléctricamente a una de la superficie conductora (126) y la escobilla (128).
35
4. El sistema de derivación de rayos de acuerdo con la reivindicación 3, en el que una de la superficie conductora (126) y la escobilla (128) está fijada al buje de rotor de turbina eólica (20) y la otra de la superficie conductora (126) y la escobilla (128) está asegurada a la góndola de turbina eólica (16) para proporcionar una trayectoria eléctrica entre el buje de rotor de turbina eólica (20) y la góndola de turbina eólica (16).
40
5. El sistema de derivación de rayos de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la superficie conductora (126) es un disco metálico anular.
- 45 6. El sistema de derivación de rayos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 5, que comprende además un conector de buje (120) fabricado de un material eléctricamente aislante (123) fijado al buje de rotor (20) de la turbina eólica (10), y comprendiendo el conector de buje (120) un núcleo (121) de material eléctricamente conductor, estando el núcleo (121) conectado eléctricamente al segundo extremo (112) del conector de pala (110) a través de un elemento conductor (116).
50
7. El sistema de derivación de rayos de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el elemento conductor (116) incluye una cubierta de material eléctricamente aislante.
8. El sistema de derivación de rayos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 - 7, en el que una trayectoria de conexión (200) definida por el elemento conductor (116) sirve como guía para un haz de cables (201).
55
9. El sistema de derivación de rayos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 - 8, en el que el conector de buje (120) incluye un conector de perno de argolla rotatorio (122).
- 60 10. El sistema de derivación de rayos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en el que el elemento de sujeción eléctricamente aislante (114) conecta el conector de pala (110) a una brida de pala, o a una placa dispuesta en la raíz de pala.
- 65 11. Una pala de turbina eólica que comprende el sistema de derivación de rayos de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 10.

12. La turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 11, en la que el conector de pala está unido a una brida de pala.
- 5 13. Un procedimiento para proporcionar un sistema de derivación de rayos en una turbina eólica (10), comprendiendo el procedimiento:
- 10 proporcionar un conector de pala (110) que comprende un material eléctricamente aislante (113) ubicado sustancialmente en un eje de rotación (R) de una raíz de pala (24) de la turbina eólica (10), en el que el conector de pala (110) comprende un elemento de sujeción eléctricamente aislante (114) para conectar el conector de pala (110) a la raíz de pala (24) en el que el conector de pala (110) comprende un primer extremo (111), un segundo extremo (112) y un núcleo (113) de material eléctricamente conductor conectado eléctricamente al primer extremo (111) y al segundo extremo (112);
- 15 conectar el primer extremo (111) del conector de pala (110) a un cable conductor de bajada (100) procedente de un receptor de rayos de una pala (22);
- 20 proporcionar una conexión rotatoria (115, 116, 122) entre el primer extremo (111) y el segundo extremo (112) del conector de pala (110); y
- acoplar de forma conductora el conector de pala (110) a un sistema de puesta a tierra de rayos (129) de una turbina eólica (10).
- 25 14. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, en el que el procedimiento comprende además:
- proporcionar una superficie conductora (126) fijada a uno de un buje de rotor de turbina eólica (20) y una góndola de turbina eólica (16) y aislada eléctricamente de los mismos;
- 30 proporcionar una escobilla (128) para el contacto eléctrico con la superficie conductora (126), estando asegurada la escobilla (128) al otro del buje de rotor de turbina eólica (20) y la góndola de turbina (16) donde está fijada la superficie conductora (126), proporcionando una trayectoria eléctrica entre el buje de rotor de la turbina eólica (20) y una góndola de turbina eólica (16); y
- 35 acoplar de forma conductora el segundo extremo (112) del conector de pala (110) a la superficie conductora (126).
15. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13 - 14, que comprende además:
- 40 fijar un conector de buje (120) fabricado de un material eléctricamente aislante (123) al buje de rotor (20) de la turbina eólica (10); en el que el conector de buje (120) comprende un núcleo (121) de material eléctricamente conductor;
- 45 acoplar de forma conductora el segundo extremo (112) del conector de pala (110) al conector de buje (120) a través de un elemento conductor (116), definiendo el elemento conductor (116) una trayectoria de conexión (120); y
- guiar un haz de cables (201) a lo largo de la trayectoria de conexión (200) definida por el elemento conductor (116).

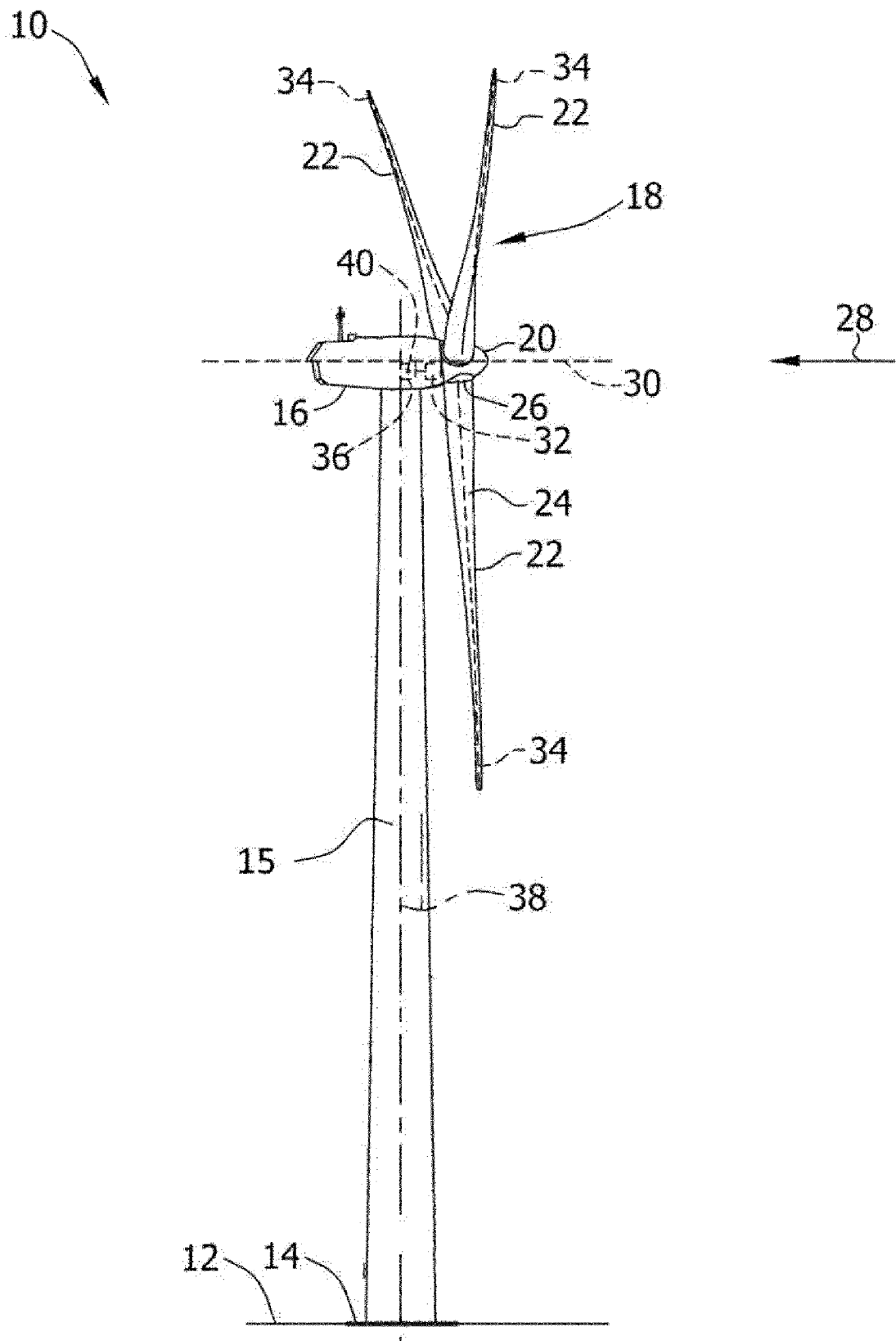


Fig. 1

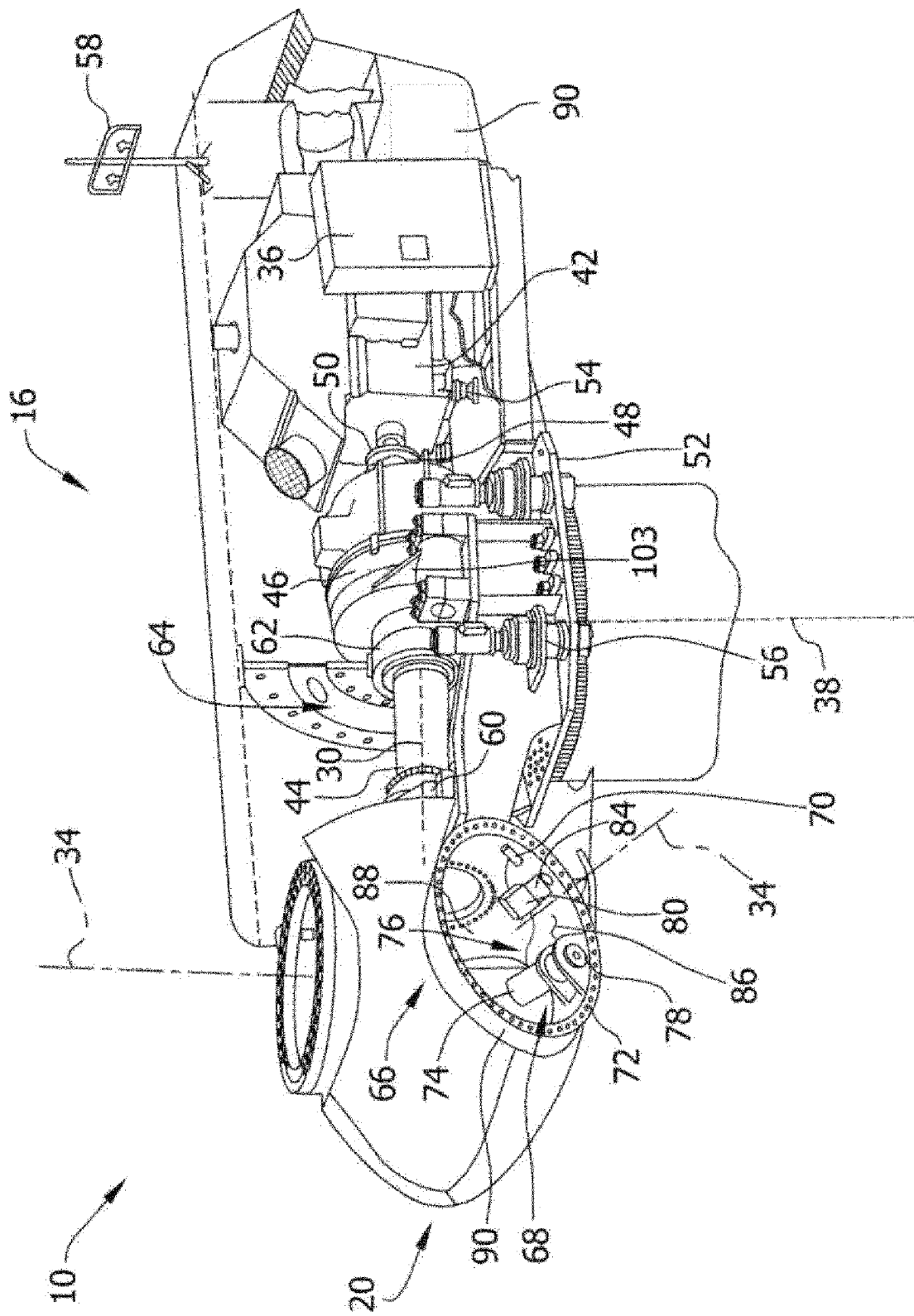


Fig. 2

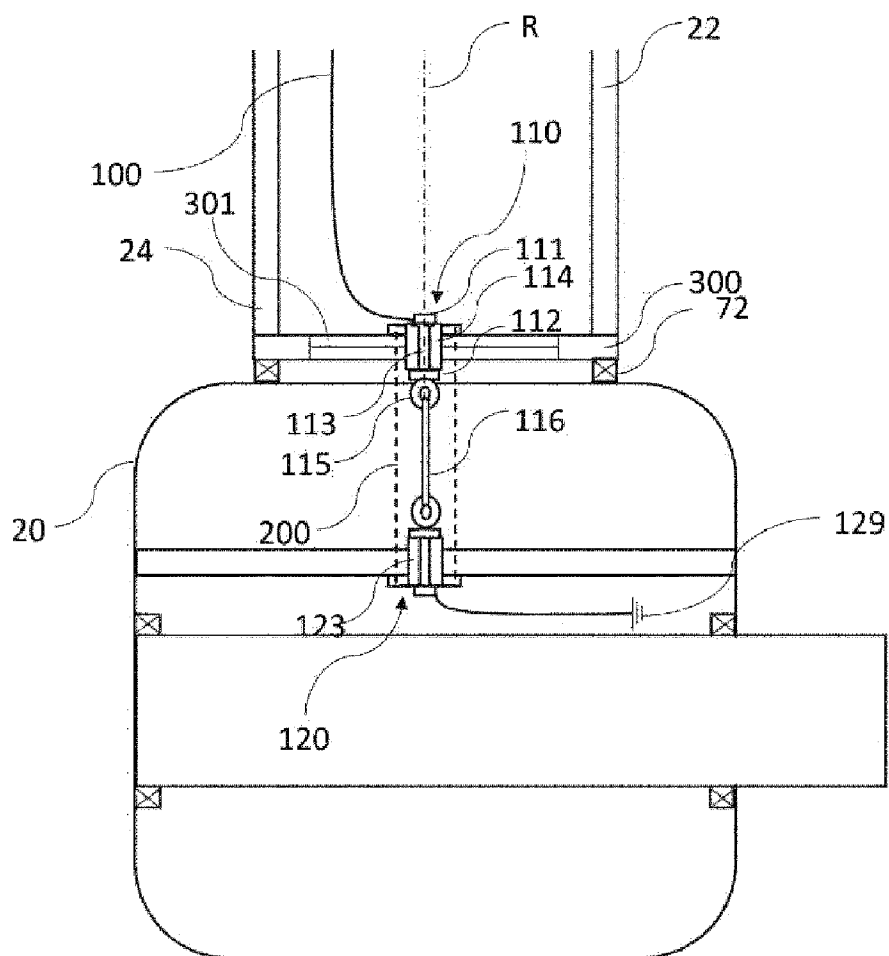


Fig. 3

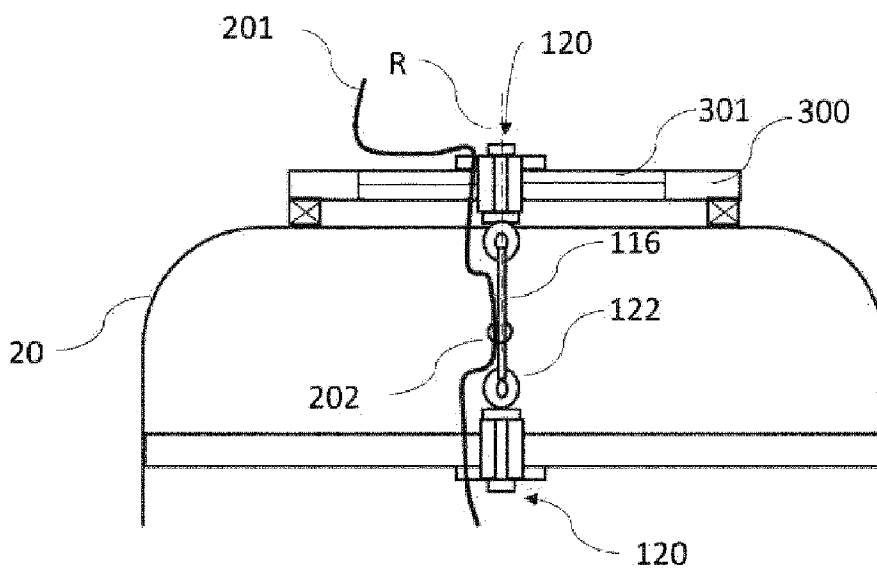


Fig. 4

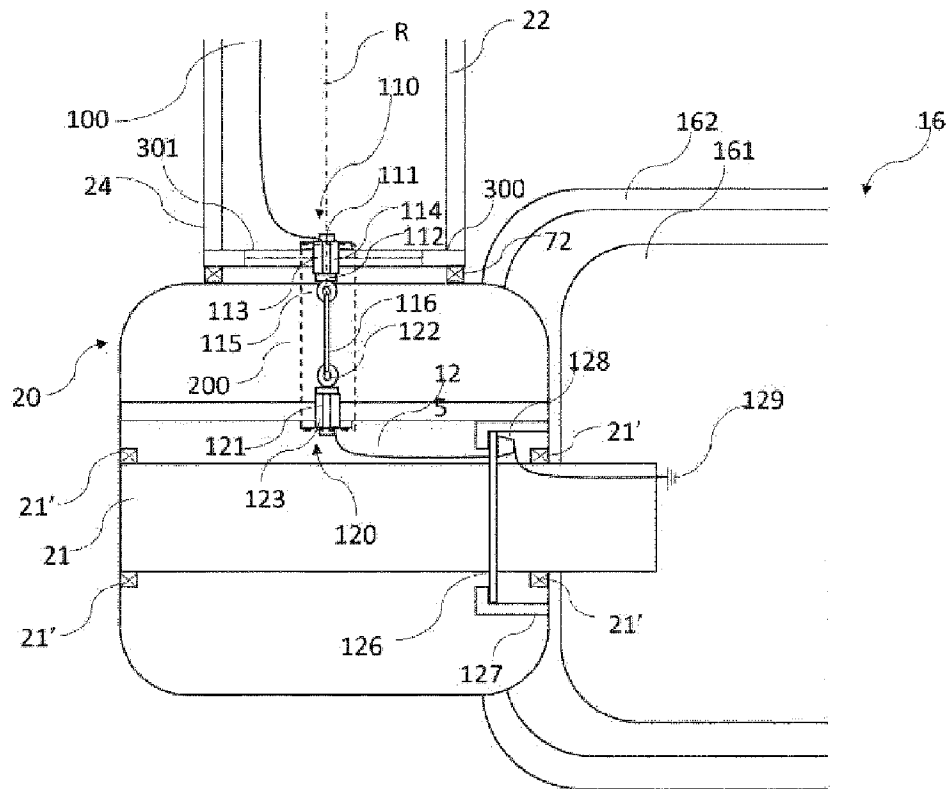


Fig. 5

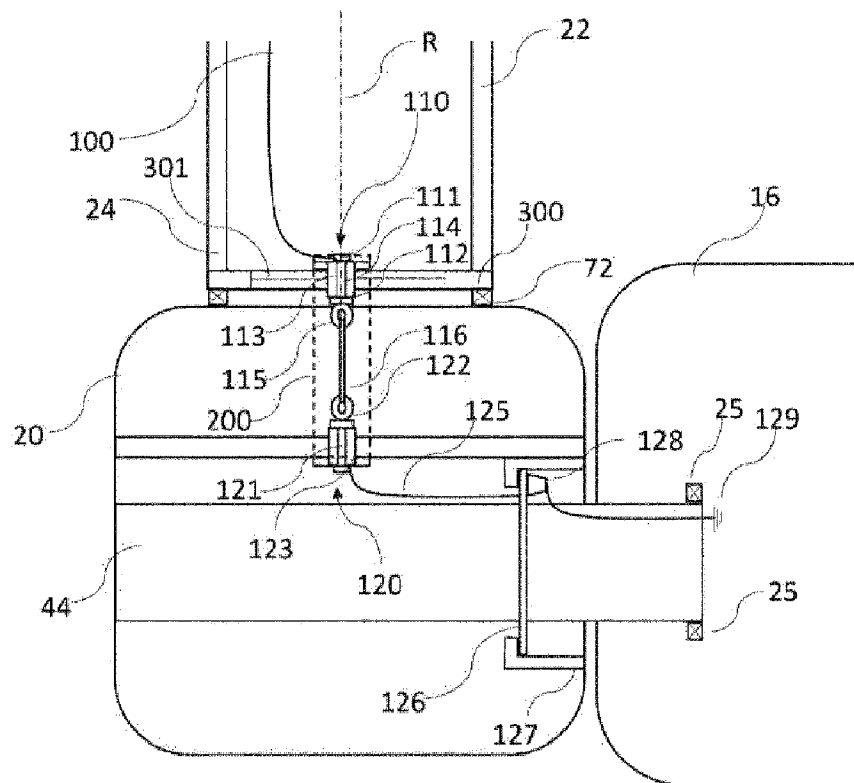


Fig. 6

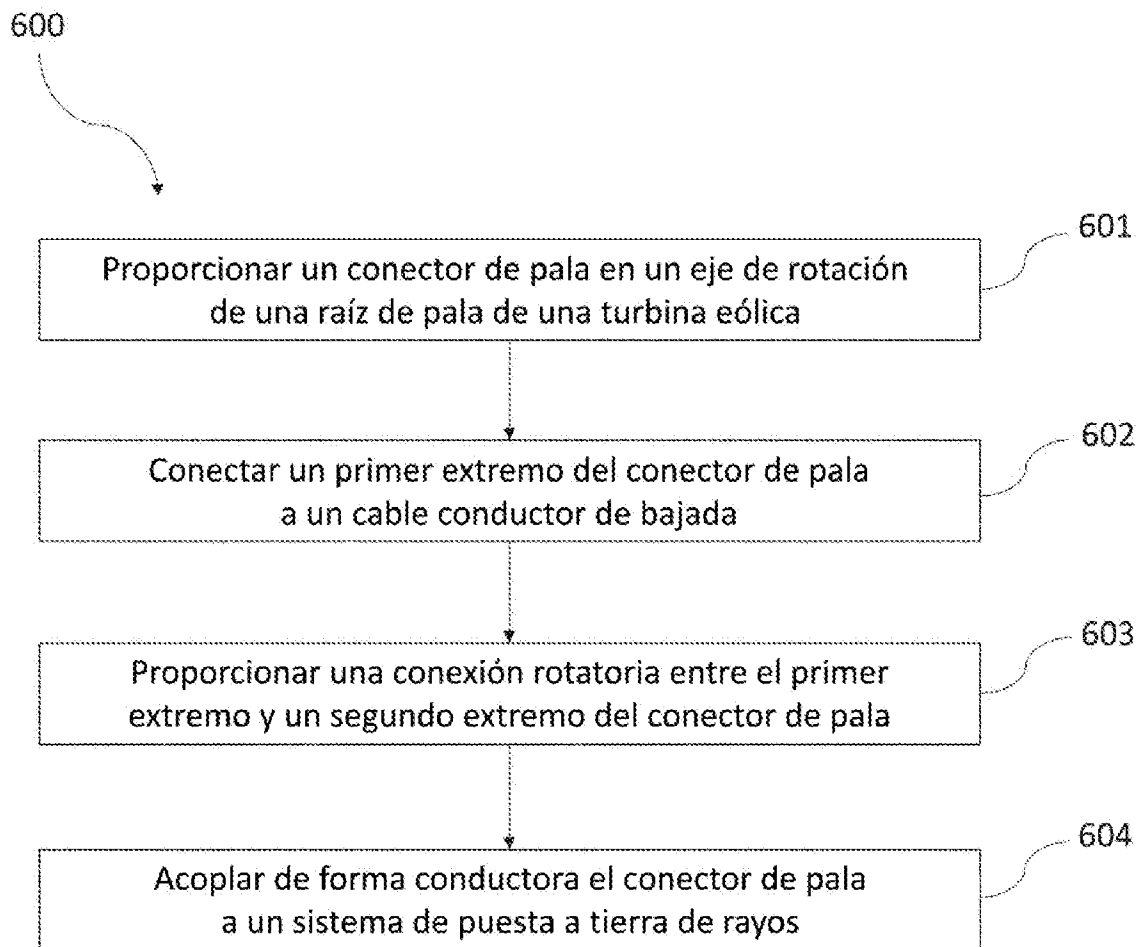


Fig. 7