

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 668 208**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 80/70 (2006.01)

F03D 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.11.2011 PCT/DK2011/050452**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.05.2012 WO12069062**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.11.2011 E 11791426 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.04.2018 EP 2643585**

54 Título: **Un sistema de paso para una turbina eólica**

30 Prioridad:

26.11.2010 US 417335 P
26.11.2010 DK 201070510
08.12.2010 US 420940 P
08.12.2010 GB 201020828

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.05.2018

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

NEUBAUER, JESPER LYKKEGAARD;
MØLGAARD JEPPESEN, OLE;
ROWNTREE, ROBERT;
CHRISTOFFERSEN, LEIF;
BØTTCHER, PETER y
MADDEN, GARY

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 668 208 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

Un sistema de paso para una turbina eólica

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un sistema de paso para girar una pala de una turbina eólica con relación a un buje, junto con una turbina eólica que incorpora un sistema de paso.

10 **Antecedentes**

Las turbinas eólicas incluyen, por lo general, un rotor con grandes palas accionadas por el viento. Las palas convierten la energía cinética del viento en energía mecánica rotativa. Por lo general, la energía mecánica se transfiere a través de un tren de accionamiento a un generador, que a continuación convierte la energía en energía eléctrica.

La mayoría de las turbinas eólicas modernas controlan la potencia de salida mediante el cambio de paso de las palas con relación al viento. De este modo, cada pala se monta en un buje mediante un cojinete de pala que permite un movimiento relativo entre la pala y el buje. Las palas se giran alrededor de su eje longitudinal mediante un sistema de paso que incluye uno o más accionamientos eléctricos (por ejemplo, motores eléctricos) o accionamientos hidráulicos (p. ej., accionadores hidráulicos). Aunque puede utilizarse un único accionamiento para cambiar el paso colectivamente de las palas, los sistemas de paso en la mayoría de las turbinas eólicas modernas incluyen accionamientos para cambiar el paso de cada pala individualmente.

Existen diversas maneras de implementar un sistema de paso. La mayoría de diseños, sin embargo, montan la pala en un anillo interior del cojinete de pala y el buje en un anillo exterior del cojinete de pala. Una disposición de este tipo facilita la conexión del accionamiento del paso, que se monta típicamente en el buje, en la pala a través de vástagos, engranajes u otros enlaces mecánicos. Adicionalmente, los elementos del sistema de paso en dicha disposición pueden estar contenidos en gran parte dentro del interior del buje (y posiblemente la pala), lo que es generalmente deseable. Y por último, esta disposición ayuda a asegurar que el buje siga siendo lo suficientemente grande para tener la rigidez estructural necesaria para soportar cargas y/o tener el espacio interior necesario para acomodar al personal de servicio.

A lo largo del tiempo, ha habido un aumento significativo en el tamaño total de las turbinas eólicas debido al deseo de capturar más de la energía disponible en el viento. Como el buje —típicamente un componente colado— se ha hecho más grande, los costes de materiales suponen una situación tan preocupante (o más) como que el buje sea de un tamaño suficiente para la integridad estructural. Montar los anillos interiores de los cojinetes de pala en el buje en lugar de en la pala representa una oportunidad de disminuir el tamaño de las áreas de montaje y el cuerpo global del buje, ahorrando de ese modo costes de material.

Aunque se han propuesto diversos diseños para montar el buje en el anillo interior de un cojinete de pala y la pala en el anillo exterior, sigue habiendo margen para la mejora. Por ejemplo, conectar el accionamiento del paso montado en el buje al anillo de cojinete exterior/pala presenta un reto. Los intentos para solucionar este reto se han enfocado en los elementos de montaje del sistema de paso en el exterior del buje. Por lo general, esto no se considera práctico para los sistemas de paso hidráulico debido a la longitud del recorrido del accionador y los enlaces mecánicos que podrían necesitarse para proporcionar el rango requerido de variación del paso. Solamente un motor eléctrico compacto que actúa sobre un anillo dentado conectado con el anillo de cojinete exterior o pala es una opción viable.

De hecho, para sistemas de paso eléctricos, dicha colocación exterior se considera generalmente la única opción viable por razones relacionadas con el servicio y el mantenimiento. El anillo dentado está sujeto a desgaste y típicamente requiere el reemplazo durante el período de vida útil de la turbina eólica. Si se localiza en el interior de la pala (p. ej., montado en una pared interior de la pala o la parte superior del anillo de cojinete exterior), la pala deberá retirarse típicamente para sustituir el anillo dentado. De este modo, la complejidad, los costes, y el tiempo de inactividad asociado con la sustitución del anillo dentado son significativamente mayores en comparación con disposiciones en las que el anillo dentado se monta en el exterior de manera que no se requiere la retirada de la pala. El documento DE202005007450U1 describe un adaptador para ajustar una pala de rotor sobre un buje de una turbina eólica en la que un motor de accionamiento eléctrico del paso se sitúa en el interior del adaptador y engrana con una parte dentada de un anillo interior del cojinete de paso.

60 **Sumario**

Se describe a continuación un sistema de paso de palas de turbina eólica para el giro de una pala de una turbina eólica. El sistema de paso comprende en general un cojinete de paso de dos anillos que tiene un anillo de cojinete interior configurado para montarse en un buje de la turbina eólica y un anillo de cojinete exterior configurado para montarse en la pala. El anillo de cojinete exterior es giratorio con relación al anillo de cojinete interior para cambiar el

paso de la pala con relación al buje. Se posiciona un primer elemento de acoplamiento entre el buje y el anillo de cojinete interior. Se posiciona un segundo elemento de acoplamiento entre la pala y el anillo de cojinete exterior. El primer elemento de acoplamiento se extiende radialmente hacia el interior, y el segundo elemento de acoplamiento se extiende radialmente hacia el interior y sobre el anillo de cojinete interior. El sistema de paso incluye también un sistema de accionamiento que tiene un primer elemento de accionamiento acoplado al primer elemento de acoplamiento y un primer elemento accionado acoplado al segundo elemento de acoplamiento. El primer elemento de accionamiento está configurado para mover el primer elemento accionado para girar el anillo de cojinete exterior con relación al anillo de cojinete interior.

De este modo, con esta disposición, los componentes del sistema de accionamiento se sitúan de forma ventajosa en el interior de la turbina eólica (p. ej., dentro del buje, cojinete, y/o pala). Esto ayuda a proteger los componentes de condiciones no deseables (por ejemplo, un clima riguroso) y permite que sean reparados en el interior de la turbina eólica. Al mismo tiempo, montar el cojinete interior en el buje contribuye a ahorrar costes de material. El área de montaje del cojinete en el buje no necesita ser tan grande en comparación con disposiciones en las que el anillo de cojinete exterior se monta en el buje. Por lo tanto, el tamaño total del buje puede mantenerse en un mínimo.

El primer y el segundo elementos de acoplamiento facilitan el montaje del sistema de accionamiento de manera que son posibles sistemas de accionamiento tanto eléctricos como hidráulicos. En un sistema eléctrico, el primer elemento de accionamiento puede comprender un motor y piñón, y el segundo elemento de accionamiento puede comprender un engranaje del paso (por ejemplo, un anillo dentado). En un sistema hidráulico, el primer elemento de accionamiento puede comprender un cilindro hidráulico, y el primer elemento accionado puede comprender un vástago de pistón. Se puede proporcionar más de un elemento de accionamiento y elemento accionado para ayudar a reducir el tamaño/capacidad requerido de estos componentes. Por consiguiente, el sistema de accionamiento puede comprender además un segundo elemento de accionamiento acoplado al primer elemento de acoplamiento y un segundo elemento accionado acoplado al segundo elemento de acoplamiento.

Son posibles otras ventajas cuando se proporciona un sistema de accionamiento hidráulico con dicha disposición. En particular, los elementos accionados primero y segundo pueden disponerse paralelos entre sí. Esto permite que se apliquen fuerzas al segundo elemento de acoplamiento (y, por lo tanto, al anillo de cojinete exterior) de manera más simétrica. En algunas realizaciones, el elemento de acoplamiento incluye una parte anular que sobresale del anillo de cojinete interior y una parte de travesaño que abarca una abertura definida por la parte anular. Los elementos accionados primero y segundo se acoplan luego a la parte de travesaño. La parte de travesaño permite que los componentes radiales de las fuerzas aplicadas por el primer y segundo elementos accionados actúen contra el otro. Esto reduce o elimina su efecto sobre el anillo de cojinete exterior, lo que es deseable porque los componentes radiales no contribuyen al giro del cojinete.

Incluso adicionalmente, los componentes del sistema de accionamiento aplican fuerzas de manera que ayudan a evitar las concentraciones de tensión en el anillo de cojinete exterior. En dichas realizaciones, la parte de travesaño se extiende a lo largo de un eje principal. El primer elemento de accionamiento y el primer elemento accionado se disponen a lo largo de un primer eje, y el segundo elemento de accionamiento y el segundo elemento accionado se disponen a lo largo de un segundo eje. En una posición nominal del sistema de paso, el primer eje y el segundo eje intersecan el eje principal en una localización sobre el anillo de cojinete exterior. Esta disposición ayuda a evitar los momentos que no contribuyen al giro en las localizaciones donde se aplican fuerzas al anillo de cojinete exterior.

El primer elemento de acoplamiento del sistema de paso puede formarse integralmente con el buje. Como alternativa, el primer elemento de acoplamiento puede ser un componente separado sujeto al buje. En una realización, el primer elemento de acoplamiento comprende un elemento en forma de placa sujeto al buje con pernos que se extienden a través del anillo de cojinete interior y del buje. El elemento en forma de placa cubre sustancialmente una abertura definida por el buje en una localización de montaje para el anillo de cojinete interior, pero también incluye al menos una abertura para proporcionar acceso al buje. Dicha disposición es particularmente ventajosa cuando se usa un sistema de accionamiento hidráulico porque proporciona una gran superficie para acumuladores de montaje, mangueras, colectores y otros componentes del sistema de accionamiento. Los componentes pueden montarse en el primer elemento de acoplamiento antes de la instalación en un entorno más controlado o deseable (por ejemplo, uno con más espacio y herramientas disponibles fácilmente).

Estas y otras ventajas serán más evidentes a partir de la siguiente descripción.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica de acuerdo con una realización.

La figura 2 es una vista en perspectiva de un sistema de paso para la turbina eólica de la figura 1.

La figura 3 es una vista en perspectiva en despiece del sistema de paso que se muestra en la figura 2.

La figura 4 es otra vista en perspectiva del sistema de paso que se muestra en la figura 2.

La figura 5 es una vista en alzado del sistema de paso que se muestra en la figura 2.

Las figuras 5A y 5B son vistas esquemáticas de cómo se aplican fuerzas en el sistema de paso de la figura 2

- 5 La figura 6 es una vista en sección transversal a lo largo de la línea 6-6 de la figura 5, mostrando una parte del sistema de paso con mayor detalle.

La figura 7 es una vista en sección transversal de una parte de un sistema de paso de acuerdo con una realización alternativa.

10

Descripción detallada

La Fig. 1 muestra un ejemplo de una turbina eólica 2. Aunque se muestra una turbina eólica marina, debe observarse que la descripción que sigue a continuación puede ser aplicable a otros tipos de turbinas eólicas. La turbina eólica 2 incluye un rotor que tiene palas 4 montadas en un buje 6, que está soportado por un góndola 8 en una torre 12. El viento provoca que el rotor gire alrededor de un eje principal. Esta energía de rotación se proporciona a un sistema de transmisión de energía alojado dentro de la góndola 8, en donde la energía se convierte a continuación en energía eléctrica.

15

20

Las palas 4 se montan en el buje 6 por cojinetes de pala respectivos de manera que pueda cambiarse el paso de las palas 4 hacia o contra el viento. El paso cambia la cantidad de empuje creada por el viento y el accionamiento de la rotación del rotor. De este modo, pueden utilizarse los sistemas de paso entre las palas 4 y el buje 6 para ayudar a controlar la turbina eólica y optimizar la producción de energía. A pesar de que los sistemas de paso son bien conocidos, la siguiente descripción se centra en un sistema de paso que tiene una disposición particular de manera que pueden obtenerse ciertas ventajas. Estas ventajas serán más evidentes a partir de la descripción que sigue.

25

En la Fig. 1, el buje 6 se muestra con una cubierta exterior ("ojiva"). Las Figs. 2-4, sin embargo, ilustran el buje 6 con la cubierta exterior retirada de manera que puede verse con más detalle un sistema de paso 20 para una de las palas. Pueden proporcionarse sistemas similares de paso para cada una de las palas 4 (no se muestra en las Figs. 2-4). El sistema de paso 20 incluye un cojinete 22, un primer y un segundo elemento de acoplamiento 24, 26, y un sistema de accionamiento 28. Más concretamente, el cojinete 22 incluye un anillo de cojinete interior 30 montado en el buje 6 y un anillo de cojinete exterior 32 montado en la pala. El primer elemento de acoplamiento 24 se posiciona entre el buje 6 y el anillo de cojinete interior 30. El segundo elemento de acoplamiento 26 se posiciona entre la pala 4 y el anillo de cojinete exterior 32. El sistema de accionamiento 28 se conecta al primer y segundo elementos de acoplamiento 24, 26 de manera que el sistema de accionamiento 28 pueda girar el anillo de cojinete interior 30 con respecto al anillo de cojinete exterior 32 y de ese modo el paso de la pala 4 con respecto al buje 6.

30

35

Ventajosamente, el sistema de accionamiento 28 se sitúa en el interior del buje 6, el cojinete 22 y/o la pala 4. El primer elemento de acoplamiento 24 se extiende radialmente hacia el interior para facilitar de esta manera la colocación del sistema de accionamiento 28. Asimismo, el segundo elemento de acoplamiento 26 se extiende radialmente hacia el interior, pero se extiende adicionalmente sobre el cojinete interior 30 debido a la conexión entre el segundo elemento de acoplamiento 26 y el anillo de cojinete exterior 32. El sistema de accionamiento 28 incluye al menos un elemento de accionamiento 34 acoplado al primer elemento de acoplamiento 24 y al menos un elemento accionado 36 acoplado al segundo elemento de acoplamiento 26. Se proporcionan en la realización mostrada primeros y segundos elementos de accionamiento 34a, 34b, comprendiendo cada uno un cilindro hidráulico. Se proporcionan de la misma forma primeros y segundos elementos accionados 36a, 36b, comprendiendo cada uno un vástago del pistón configurado para ser movido por uno de los cilindros hidráulicos. Son posibles otros sistemas de accionamiento que no incluyen cilindros hidráulicos y vástagos de pistón, como se describirá con mayor detalle más adelante.

50

Cuando se proporciona un sistema de accionamiento operado hidráulicamente, la mayor parte o todo el equipo para operar el sistema se puede montar cómodamente en el primer elemento de acoplamiento 24. Por ejemplo, el primer elemento de acoplamiento 24 puede ser un elemento similar a una placa que cubre sustancialmente una abertura 38 en el buje 6 definida en la localización de montaje para el anillo de cojinete interior 30 (y, por lo tanto, cubriendo una zona interior del cojinete 22). Los acumuladores 40 (Fig. 4), mangueras 42, colectores 44, válvulas, etc., pueden montarse en el primer elemento de acoplamiento 24. Esto puede realizarse incluso antes de montar el primer elemento de acoplamiento 24 de manera que se requiera menos trabajo para completar la instalación del sistema de paso 20 cuando se monta la pala 4 y el espacio es más confinado. Adicionalmente, todo o la mayor parte del equipo se puede montar en el lado del primer elemento de acoplamiento 24 orientado hacia el buje 6 (es decir, el "lado inferior") para proporcionar un acceso fácil desde el interior del buje 6 y facilitar el servicio. En la realización mostrada, solamente el primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b y el primer y segundo elemento accionado 36a, 36b se disponen en el lado del primer elemento de acoplamiento 24 orientado hacia la pala 4. Se proporcionan una o más aberturas 46 en el primer elemento de acoplamiento 24 para proporcionar acceso a estos componentes. La abertura 46 puede cubrirse por una cubierta extraíble 48.

55

60

65

El primer elemento de acoplamiento 24 puede montarse en el buje 6 con los mismos pernos usados para montar el

anillo de cojinete interior 30 al buje 6. De este modo, los pernos interiores 50 (Fig. 6) se extienden a través del cojinete interior 30, el primer elemento de acoplamiento 24, y en el interior del buje 6. Son posibles, sin embargo, otros diseños. De hecho, el primer elemento de acoplamiento 24 puede, alternativamente, ser una pestaña u otra estructura formada integralmente con el buje 6 o anillo de cojinete interior 30. El primer elemento de acoplamiento 24 también puede ser un elemento anular o una parte intermedia que tiene una forma diferente a la que se muestra. Es deseable, sin embargo, que el primer elemento de acoplamiento 24 se forme de manera que proporcione al buje 6 refuerzo/rigidez adicional en las localizaciones de montaje de los cojinetes 22.

Se pueden hacer declaraciones similares con respecto al segundo elemento de acoplamiento 26. Es decir, el segundo elemento de acoplamiento 26 puede ser un componente separado montado entre el anillo de cojinete exterior 32 y la pala 4, como se muestra, o una parte integral del anillo de cojinete exterior 32 o la pala 4. Si es un componente separado, el segundo elemento de acoplamiento 26 puede montarse con los mismos pernos usados para montar el anillo de cojinete exterior 32 a la pala 4. De este modo, los pernos externos 52 se extienden a través del anillo de cojinete exterior 32 y el segundo elemento de acoplamiento 26 antes de acoplar los orificios de pernos en una parte de la raíz de la pala. Como se muestra en la Fig. 4, los pernos exteriores 52 pueden insertarse desde un lado inferior del anillo de cojinete exterior 32 si los orificios de pernos en la parte de la raíz (no mostrados) son agujeros ciegos. Aunque esto presenta desafíos en términos de acceso debido a que el lado inferior del anillo exterior del cojinete 32 está situado en el exterior del buje 6, estos desafíos pueden abordarse suministrando una o más aberturas 56 en el buje 6 entre los lugares de montaje de la pala. Las aberturas 56 proporcionan acceso a la parte inferior de los anillos de cojinete exterior 32 (y, por lo tanto, los pernos exteriores 52) del espacio interior del buje 6.

Con referencia nuevamente a las Figs. 2 y 3, el segundo elemento de acoplamiento 28 incluye una parte anular (o "estructura anular") 60 que sobresale del anillo de cojinete interior 30. La parte anular 60 tiene una pluralidad de orificios 62 cada uno sustancialmente axialmente alineado con al menos un orificio de pernos 64 en el anillo de cojinete interior 30 para proporcionar acceso a los pernos interiores 50 desde un espacio por encima del segundo elemento de acoplamiento 26. La parte anular 60 propiamente dicha define una abertura 66, que se extiende por una parte del travesaño (o "estructura de travesaño") 68 del segundo elemento de acoplamiento 26. Además de reforzar/dar rigidez al anillo de cojinete exterior 32, otras ventajas asociadas con esta disposición serán más evidentes en función de la descripción del sistema de accionamiento 28 que sigue. Al igual que el primer elemento de acoplamiento 24, sin embargo, el segundo elemento de acoplamiento 26 puede, alternativamente, tener una forma diferente de la que se muestra (por ejemplo, si las ventajas particulares asociadas con la forma mostrada en las figuras no son requeridas o deseadas).

El primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b se acoplan al primer elemento de acoplamiento 24 de manera que permita la rotación alrededor de un eje paralelo a un eje de rotación 70 del cojinete 22. Se apreciarán varias maneras de proporcionar esta rotación relativa. Por ejemplo, el primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b pueden estar soportados cada uno de ellos por un bastidor 72 montado en el primer elemento de acoplamiento 24 por un cojinete 74. Pueden proporcionarse grados de libertad rotativos adicionales, de modo que el primer y segundo elementos de accionamiento 34a, 34b sean capaces de rotar o "balancear" alrededor de un eje sustancialmente perpendicular al eje de rotación 70 del cojinete 22. En la realización mostrada, esto se logra mediante el primer y segundo elementos de accionamiento 34a, 34b incluyendo cada uno muñones o brazos de montaje soportados rotativamente por el bastidor correspondiente 72.

El primer y el segundo elemento accionado 36a, 36b se acoplan de manera similar a la parte de travesaño 68 del segundo elemento de acoplamiento 26. Concretamente, la disposición de acoplamiento entre el primer y el segundo elemento accionado 36a, 36b y el segundo elemento de acoplamiento 26 también permite la rotación relativa alrededor de un eje paralelo al eje de rotación 70 del cojinete 22. Por lo tanto la disposición de acoplamiento puede incluir un cojinete 80. Se pueden proporcionar grados de libertad rotativos adicionales para esta conexión rotativa en realizaciones alternativas, por ejemplo, siendo esférico el cojinete 80. Las rotaciones relativas proporcionadas por los acoplamientos para el primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b y el primer y segundo elemento accionado 36a, 36b permiten que el movimiento lineal sea traducido en movimiento angular (es decir, rotación). Cuando se extienden por el primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b, el primer y el segundo elemento accionado 36a, 36b hacen que el anillo de cojinete exterior 32 rote con relación al anillo de cojinete interior 30.

En turbinas eólicas relativamente grandes, pueden requerirse fuerzas significativas para cambiar el paso de las palas debido a su tamaño y peso. De este modo, el o los elementos de accionamiento de un sistema de paso deben tener un tamaño suficiente para proporcionar las fuerzas requeridas. Adicionalmente, en los sistemas hidráulicos, los vástagos de pistón tienen que tener una longitud de recorrido suficiente para proporcionar el intervalo deseado de cambio de paso (es decir, rotación del cojinete 22). La adaptación del tamaño y la longitud del recorrido del sistema de accionamiento 28 presenta desafíos debido a su posición radialmente interior con respecto al cojinete 22. El extremo posterior de un cilindro, por ejemplo, no debe entrar en contacto con el anillo de cojinete interior 30 y/o el segundo elemento de acoplamiento 26 a medida que el cilindro gira con relación al primer elemento de acoplamiento 24 para cambiar el paso de la pala. De lo contrario, dicho contacto inhibiría una rotación y cambio de paso adicional en la pala. Estos desafíos se tratan en la realización mostrada de varias maneras.

- Por ejemplo, el hecho de que se proporcionen múltiples elementos de accionamiento 34 (el primer elemento de accionamiento 34a y el segundo elemento de accionamiento 34b) ayuda a reducir el tamaño global de cada elemento de accionamiento individual. Las fuerzas requeridas para el cambio de paso de la pala pueden dividirse entre el primer y el segundo elemento de accionamiento 34a, 34b para reducir la capacidad requerida en comparación con las disposiciones que involucran un único elemento de accionamiento. Asimismo, el primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b y el primer y segundo elemento accionado 36a, 36b se disponen paralelos entre sí y se distribuyen uniformemente alrededor del eje de rotación 70 del cojinete 22. En otras palabras, el primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b están acoplados al primer elemento de acoplamiento 24 en localizaciones separadas entre sí 180 grados en relación con el eje de rotación 70 del cojinete 22. El primer y el segundo elemento accionado 36a, 36b también se acoplan al segundo elemento de acoplamiento 26 en localizaciones separadas entre sí 180 grados en relación con el eje de rotación 70 del cojinete 22. La disposición simétrica permite que el primer y el segundo elemento de accionamiento 34a, 34b contribuyan de manera uniforme al cambio de paso de la pala.
- 15 El contacto entre los extremos posteriores del primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b y el anillo de cojinete interior 30 y/o el segundo elemento de acoplamiento 26 pueden evitarse disponiendo el primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b en un ángulo relativamente agudo con respecto a un diámetro del cojinete 22. Esto puede verse mejor con referencia a la figura 5. El primer elemento de accionamiento 34a y el primer elemento accionado 36b aplican fuerzas al segundo elemento de acoplamiento 26 a lo largo de un primer eje (o "línea de acción") 84. El segundo elemento de accionamiento 34b y el segundo elemento accionado 36b aplican fuerzas al segundo elemento de acoplamiento 26 a lo largo de un segundo eje (o "línea de acción") 86. Se define un ángulo α entre cada uno del primer y segundo eje 84, 86 y un eje principal 88 de la parte de travesaño 68. El eje principal 84 está situado en un plano radial del cojinete 22 y, por lo tanto, se alinea con un diámetro del cojinete 22.
- 25 En una posición nominal del sistema de paso 20 (por ejemplo, cuando el primer y el segundo elemento accionado 36a, 36b se retraen totalmente en el primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b), el ángulo α es menor de 90 grados. En ciertas realizaciones, el ángulo α puede estar entre 20-40 grados. Unos ángulos más pequeños dan como resultado que los extremos posteriores del primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b están orientados hacia partes del segundo elemento de acoplamiento 26 que están más lejos. La distancia entre los extremos posteriores y el anillo de cojinete interior 30 y/o la parte anular 60 del segundo elemento de acoplamiento 26 disminuirá a medida que el movimiento lineal del primer y segundo elemento accionado 36a, 36b se convierte en movimiento angular. Como se ha mencionado anteriormente, el primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b rotan alrededor de un eje paralelo a un eje de rotación 70 del cojinete 22 para permitir este movimiento angular. Esto da como resultado que los extremos posteriores oscilen hacia porciones más cercanas del segundo elemento de acoplamiento 26. Seleccionar un ángulo α relativamente pequeño (por ejemplo, menos de 90 grados y, preferentemente, de 20-40 grados) ayuda a lograr el intervalo deseado de cambio de paso antes de entrar en contacto con la parte anular 60 y/o el anillo de cojinete interior 30.
- 40 Una de las dificultades o de las consideraciones concurrentes en la disposición del primer y el segundo elemento de accionamiento 34a, 34b en un ángulo relativamente agudo con respecto a un diámetro del cojinete 22 es que actúa menos fuerza perpendicular al diámetro (es decir, menos fuerza contribuye al momento alrededor del eje de rotación 70). En otras palabras, se requieren fuerzas mayores para producir el mismo momento que las disposiciones en las que el ángulo no es tan pequeño. Una de las razones por las que esto presenta un reto es porque las fuerzas también tienen componentes radiales que no contribuyen a la rotación del cojinete 22. Estos componentes radiales pueden tener la tendencia a tirar del cojinete 22 en direcciones opuestas y provocar una distorsión de tipo oval si se aplica al cojinete 22. Las Figs. 5A y 5B son vistas esquemáticas del sistema de paso 20 que ilustran las fuerzas aplicadas por el sistema de accionamiento 28 y cómo la parte de travesaño 68 del segundo elemento de acoplamiento 26 ayuda a evitar esto.
- 50 En Fig. 5A, se muestran componentes radiales (F_r) y componentes normales (F_n) de las fuerzas (F) aplicadas por el primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b. El segundo elemento de acoplamiento 26 esencialmente actúa como un elemento de dos fuerzas que aplica principalmente estas fuerzas al anillo de cojinete exterior 32 en los puntos X e Y, como se muestra en la Fig. 5B. Los componentes normales F_n' en estos puntos de aplicación crean un momento alrededor del eje de rotación 70 que acciona la rotación del anillo de cojinete exterior 32 con relación al anillo de cojinete interior 30. Los componentes radiales F_r' no contribuyen a esta rotación. Aunque los componentes radiales actúan en direcciones opuestas, no se aplican al anillo de cojinete exterior 32 porque la parte de travesaño 68 permite cancelar cada una de ellas. De este modo, el acoplamiento del primer y segundo elemento accionado 36a, 36b a la parte de travesaño 68 reduce o elimina las preocupaciones sobre los componentes radiales que distorsionan el anillo de cojinete exterior 32. Pueden seguir aplicándose grandes fuerzas por el primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b a pesar del ángulo α relativamente pequeño para asegurar que haya un momento suficiente para hacer girar el cojinete 22.
- 65 Se obtienen ventajas adicionales debido al primer eje 84 y al segundo eje 86 que interseca el eje principal 88 por encima del anillo de cojinete exterior 32 (es decir, en los puntos de aplicación X e Y) en una posición nominal del sistema de paso. El primer y el segundo elemento accionado 36a, 36b pueden retraerse totalmente en el primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b en la posición nominal de manera que se impide la rotación del

cojinete 22 en una dirección. El cojinete 22 todavía experimenta cargas durante el funcionamiento de la turbina eólica. Algunas de las cargas pueden aplicarse en la dirección en la que se impide la rotación. Con la disposición mostrada, sin embargo, se reducen o eliminan los momentos en los puntos de aplicación X e Y que de otra forma podrían provocar concentraciones de tensiones u otros efectos adversos no deseados.

5 Adicionalmente, como se muestra en la Fig. 6, el primer y segundo elemento de accionamiento 34a, 34b y el primer y segundo elemento accionado 36a, 36b pueden disponerse en un plano 92 sustancialmente perpendicular al eje de rotación 70 del cojinete 22. El plano 92 está desplazado respecto al cojinete 22 en una dirección axial debido a la forma del segundo elemento de acoplamiento 26. Esto ayuda a proteger el cojinete en caso de deformaciones o
10 similares. En particular, los componentes del sistema de paso 20 pueden deformarse ligeramente debido a las significativas cargas experimentadas durante el funcionamiento de la turbina eólica. Las deformaciones pueden afectar a la aplicación de fuerzas explicadas anteriormente con referencia a las Figs. 5A y 5B. Por ejemplo, los componentes radiales de las fuerzas aplicadas no pueden cancelarse totalmente. Mediante el desplazamiento del plano en el que las fuerzas se aplican desde el cojinete, pueden minimizarse los efectos de las fuerzas parásitas
15 potenciales. El segundo elemento de acoplamiento 26 puede diseñarse para flexionarse o de cualquier otra forma aliviar las fuerzas de manera que no se transfieran directamente al anillo de cojinete exterior 32.

En la realización mostrada, la parte anular 60 del segundo elemento de acoplamiento 26 incluye una pestaña periférica 94 que tiene un primer grosor, una extensión 96 que tiene un segundo grosor, y una pestaña interior 98
20 que tiene un tercer grosor. El segundo grosor es inferior al primer y tercer grosor para proporcionar flexibilidad en la dirección axial. La pestaña periférica 94 y/o la pestaña interior 98 ayudan a asegurar que el segundo elemento de acoplamiento 26 permanezca rígido en la dirección radial y circunferencial. La extensión 96 se extiende en dirección axial a medida que se extiende radialmente hacia el interior desde el anillo de cojinete exterior 32. Por consiguiente, además de proporcionar flexibilidad en la dirección axial, esta disposición facilita el acceso a los pernos interiores 50
25 y a un sello de cojinete 100 entre el anillo de cojinete interior 30 y el anillo de cojinete exterior 32.

Con referencia a la Fig. 6, el cojinete 22 puede ser un cojinete de rodillos de tres filas en el que el anillo de cojinete exterior 32 tiene generalmente forma de T en sección transversal. El anillo de cojinete interior 30 tiene generalmente forma de C en sección transversal y se sitúa alrededor de una parte del anillo de cojinete exterior 32 para definir la primera y la segunda zona de solapamiento. La primera y la segunda hilera de cuerpos de rodillos 106, 108 se sitúan
30 en las respectivas primera y segunda zona de solapamiento, mientras que una tercera fila de cuerpos de rodillos 110 se sitúa entre la primera y la segunda zona de solapamiento. Los cuerpos de rodillos se muestran en forma de elementos de rodillos cilíndricos, aunque pueden usarse en su lugar elementos de rodillo esféricos, elementos de rodillos cónicos, bolas y combinaciones de estos diversos cuerpos de rodillos. El anillo de cojinete interior 30 y el
35 anillo de cojinete exterior 32 pueden tener también un diseño más convencional y cilíndrico. Por ejemplo, en una realización alternativa, el cojinete 22 puede ser un cojinete de bolas esféricas de tres filas. Asimismo, otras realizaciones pueden involucrar solamente una o dos filas de cuerpos de rodadura.

De hecho, las realizaciones descritas anteriormente son meramente ejemplos de la invención definida por las reivindicaciones que aparecen a continuación. Aquellos con experiencia en el diseño de turbinas eólicas apreciarán otros ejemplos, modificaciones y ventajas basadas en la descripción. La Fig. 7, por ejemplo, ilustra una realización alternativa que incorpora varias variantes de los elementos descritos anteriormente. En la figura se usan números de referencia similares para referirse a la estructura correspondiente. Como puede verse, en esta realización, el sistema de accionamiento 28 es eléctrico. Un elemento de accionamiento 34 que comprende un motor 202 y un piñón 204 se
40 acopla al primer elemento de acoplamiento 26, que se muestra como formado de modo integral con el buje 6. Un elemento accionado 36 que comprende uno o más engranajes de paso se acopla al segundo elemento de acoplamiento 26. Puede hacerse referencia a la solicitud de patente Provisional de Estados Unidos N.º 61/420.940 y solicitud de patente del Reino Unido N.º 1020828.8 para una descripción adicional de dicho sistema de accionamiento. El cojinete 22 en la realización mostrada en la Fig. 7 es un cojinete de bolas de dos filas.
45
50

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de paso de palas de turbina eólica (20) para hacer girar una pala (4) de una turbina eólica (2) con relación a un buje (6), comprendiendo el sistema de paso (20):
- 5 un cojinete de paso (22) de dos anillos que tiene un anillo de cojinete interior (30) configurado para montarse en el buje (6) y un anillo de cojinete exterior (32) configurado para montarse en la pala (4), siendo el anillo de cojinete exterior (32) giratorio con relación al anillo de cojinete interior (30) para cambiar el paso de la pala (4) con relación al buje (6);
- 10 un primer elemento de acoplamiento (24) colocado entre el buje (6) y el anillo de cojinete interior (30), extendiéndose el primer elemento de acoplamiento (24) radialmente hacia el interior;
- un segundo elemento de acoplamiento (26) posicionado entre la pala (4) y el anillo de cojinete exterior (32), extendiéndose el segundo elemento de acoplamiento (26) radialmente hacia el interior y sobre el anillo de cojinete interior (30); y
- 15 un sistema de accionamiento (28, 38) que tiene un primer elemento de accionamiento (34a, 202, 204) acoplado al primer elemento de acoplamiento (24) y un primer elemento accionado (36, 36a) acoplado al segundo elemento de acoplamiento (26), estando configurado el primer elemento de accionamiento (34a, 202, 204) para mover el primer elemento accionado (36, 36a) para girar el anillo de cojinete exterior (32) con respecto al anillo de cojinete interior (30).
- 20
2. Un sistema de paso de palas de turbina eólica (20) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el primer elemento de accionamiento (34a) comprende un cilindro hidráulico y el primer elemento accionado (36a) comprende un vástago de pistón acoplado al primer elemento de accionamiento (34a).
- 25
3. Un sistema de paso de palas de turbina eólica (20) de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el sistema de accionamiento (28) comprende además un segundo elemento de accionamiento (34b) acoplado al primer elemento de acoplamiento (24) y un segundo elemento accionado (36b) acoplado al segundo elemento de acoplamiento (26), comprendiendo el segundo elemento de accionamiento (34b) un cilindro hidráulico y comprendiendo el segundo elemento accionado (36b) un vástago de pistón acoplado al segundo elemento de accionamiento (34b).
- 30
4. Un sistema de paso de palas de turbina eólica (20) de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el primer y el segundo elemento accionado (34a, 34b) se disponen paralelos entre sí.
5. Un sistema de paso de palas de turbina eólica (20) de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, en el que el segundo elemento de acoplamiento (26) incluye una parte anular (60) que sobresale del anillo de cojinete interior (30) y una parte de travesaño (68) que abarca una abertura (66) definida por la parte anular (60), estando acoplados el primer y el segundo elemento accionado (36a, 36b) a la parte de travesaño (68).
- 35
6. Un sistema de paso de palas de turbina eólica (20) de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la parte de travesaño (68) se extiende a lo largo de un eje principal (88), el primer elemento de accionamiento (34a) y el primer elemento accionado (36a) se disponen a lo largo de un primer eje (84) que interseca el eje principal (88) en una localización sobre el anillo de cojinete exterior (32), y el segundo elemento de accionamiento (34b) y el segundo elemento accionado (36b) se disponen a lo largo de un segundo eje (86) que interseca el eje principal (88) en una localización sobre el anillo de cojinete exterior (32).
- 40
7. Un sistema de paso de palas de turbina eólica (20) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el elemento de accionamiento comprende un motor (202) y piñón (204), y en el que además el elemento accionado (36) comprende un engranaje de paso.
- 45
8. Un sistema de paso de palas de turbina eólica (20) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer y el segundo elemento accionado (36, 36a, 36b) se disponen en un plano sustancialmente perpendicular a un eje de rotación (70) del cojinete (22), estando el plano desplazado del cojinete (22) en una dirección axial.
- 50
9. Un sistema de paso de palas de turbina eólica (20) de acuerdo con la reivindicación 8, en el que al menos una parte del segundo elemento de acoplamiento (26) se extiende en dirección axial a medida que se extiende radialmente hacia el interior desde el anillo de cojinete exterior (32) para proporcionar una forma cónica con lados en pendiente.
- 55
10. Un sistema de paso de palas de turbina eólica (20) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cojinete (22) incluye primeras, segundas y terceras hileras de cuerpos rodantes (106, 108, 110) entre el anillo de cojinete interior (30) y el anillo de cojinete exterior (32).
- 60
11. Un sistema de paso de palas de turbina eólica (20) de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el anillo de cojinete exterior (32) tiene generalmente forma de T y el anillo de cojinete interior (30) tiene generalmente forma de C, estando el anillo de cojinete interior (30) colocado alrededor de una parte del anillo de cojinete exterior (32) para
- 65

definir la primera y la segunda zona de solapamiento, estando la primera fila de cuerpos rodantes (106) posicionada en la primera zona de solapamiento, estando la segunda fila de cuerpos rodantes (108) posicionada en la segunda zona de solapamiento, y estando la tercera fila de cuerpos rodantes (110) posicionada entre la primera y la segunda zona de solapamiento.

5 12. Un sistema de paso de palas de turbina eólica (20) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el anillo de cojinete interior (30) se monta en el buje (6) mediante una pluralidad de pernos interiores (50) que se extienden a través del anillo de cojinete interior (30), el primer elemento de acoplamiento (24), y una parte del buje (6), y además en el que el segundo elemento de acoplamiento (26) incluye una pluralidad de orificios (62) sustancialmente alineados con al menos algunos de los pernos interiores (50) para proporcionar acceso a los mismos.

13. Una turbina eólica (2), que comprende:

15 un buje (6) que tiene;
una pala (4) montada de forma giratoria en el buje (6); y
un sistema de paso de palas de turbina eólica (20) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-12 situado entre la pala (4) y el buje (6).

20 14. Una turbina eólica (2) de acuerdo con la reivindicación 13, en la que el anillo de cojinete exterior (32) y el segundo elemento de acoplamiento (26) del sistema de paso (20) se montan en la pala (4) mediante una pluralidad de pernos exteriores (52) que se extienden a través del anillo de cojinete exterior (32) y el segundo elemento de acoplamiento (26) y, además, en la que el buje (6) incluye un espacio interior y al menos una abertura (56) que proporciona acceso a los pernos exteriores (52) desde el espacio interior.

25 15. Una turbina eólica (2) de acuerdo con la reivindicación 13 o 14, en la que el primer elemento de acoplamiento (24) se forma de modo integral con el buje (6).

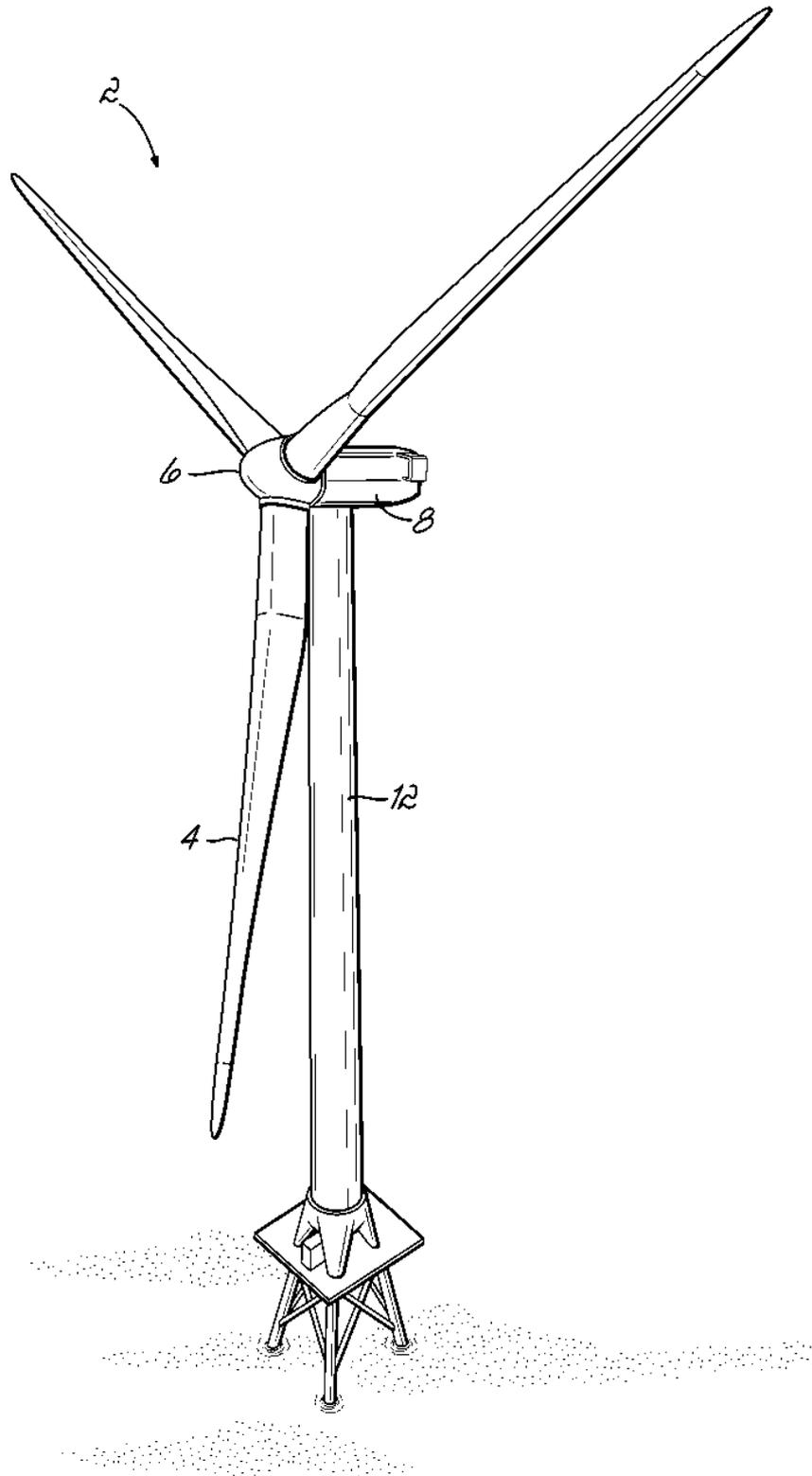


FIG. 1

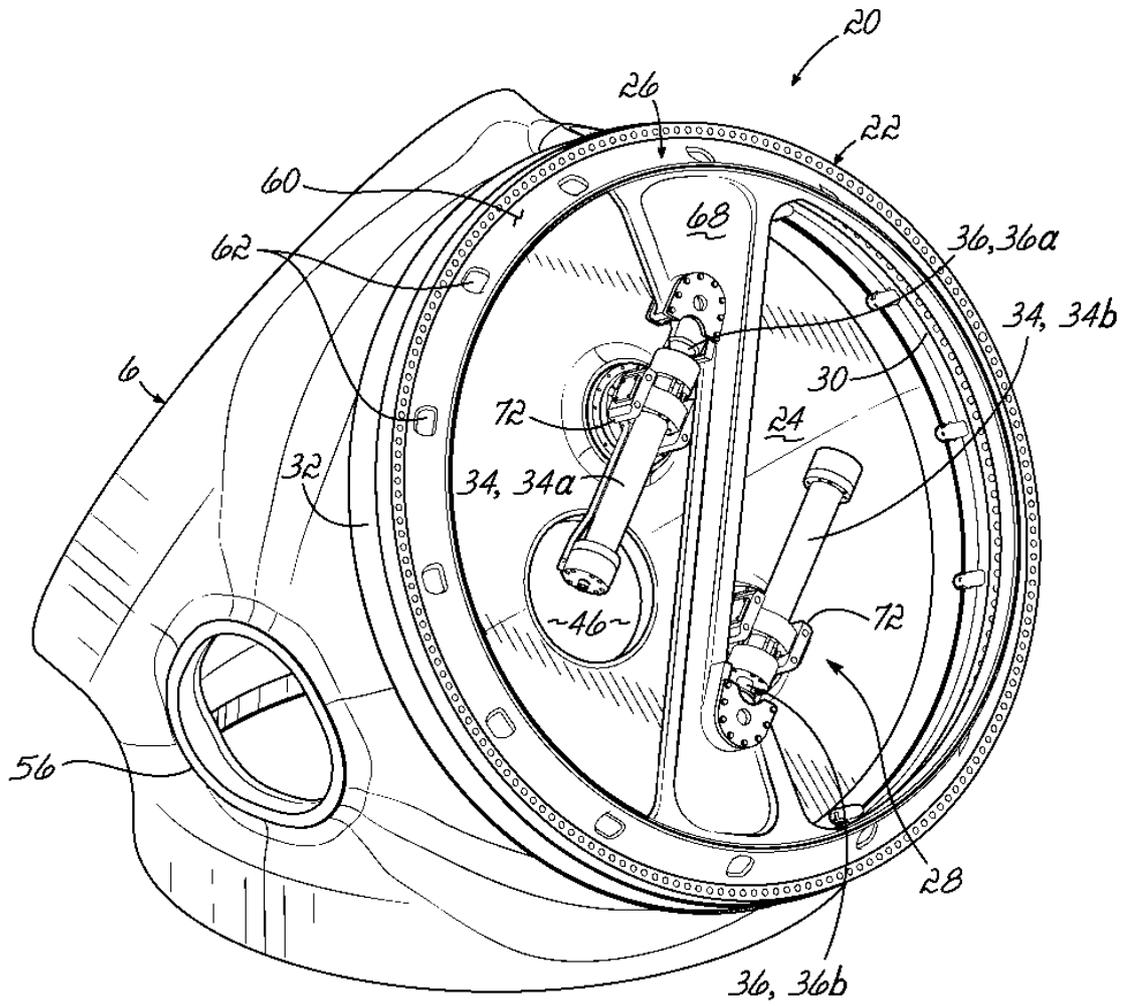


FIG. 2

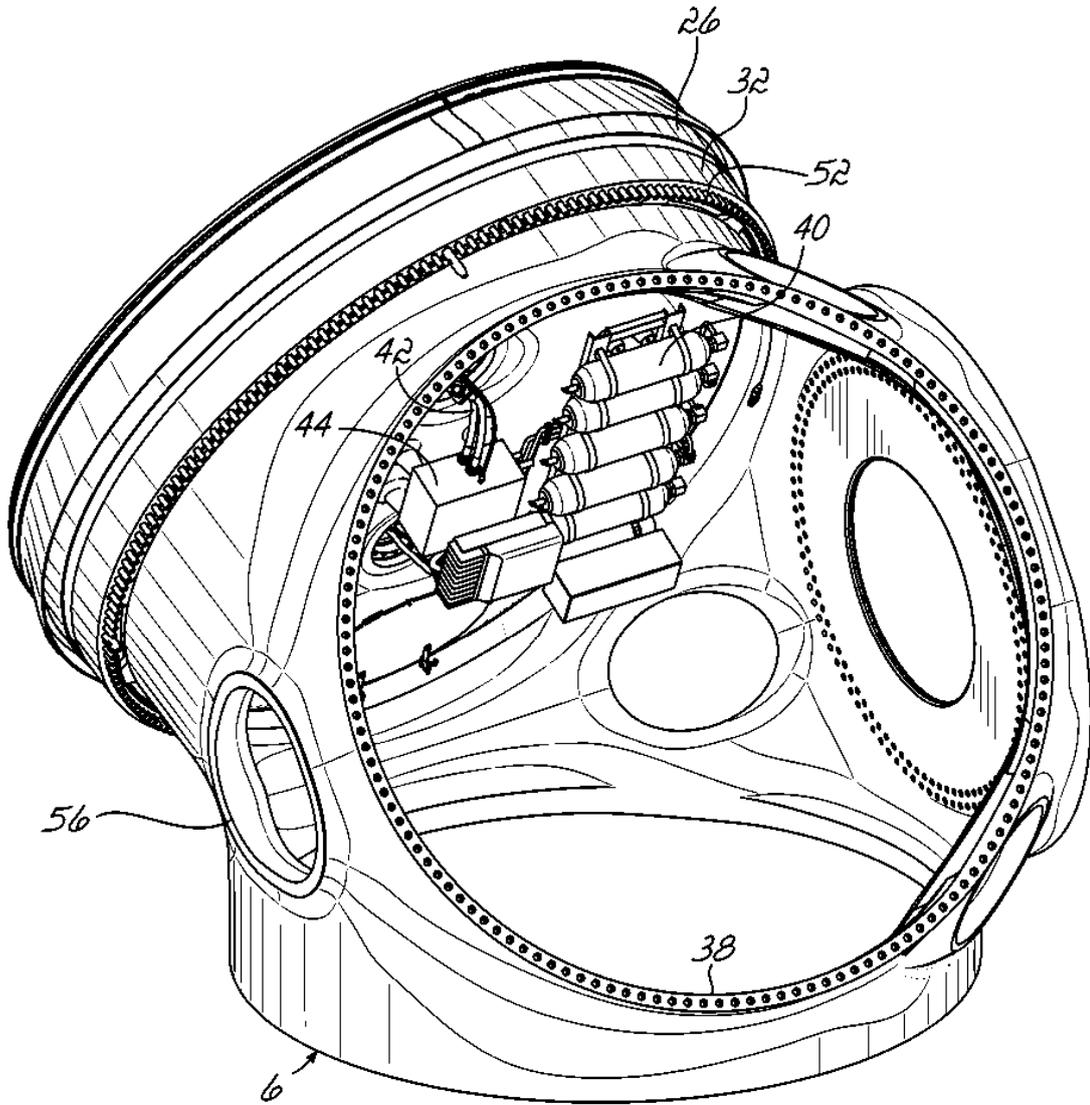


FIG. 4

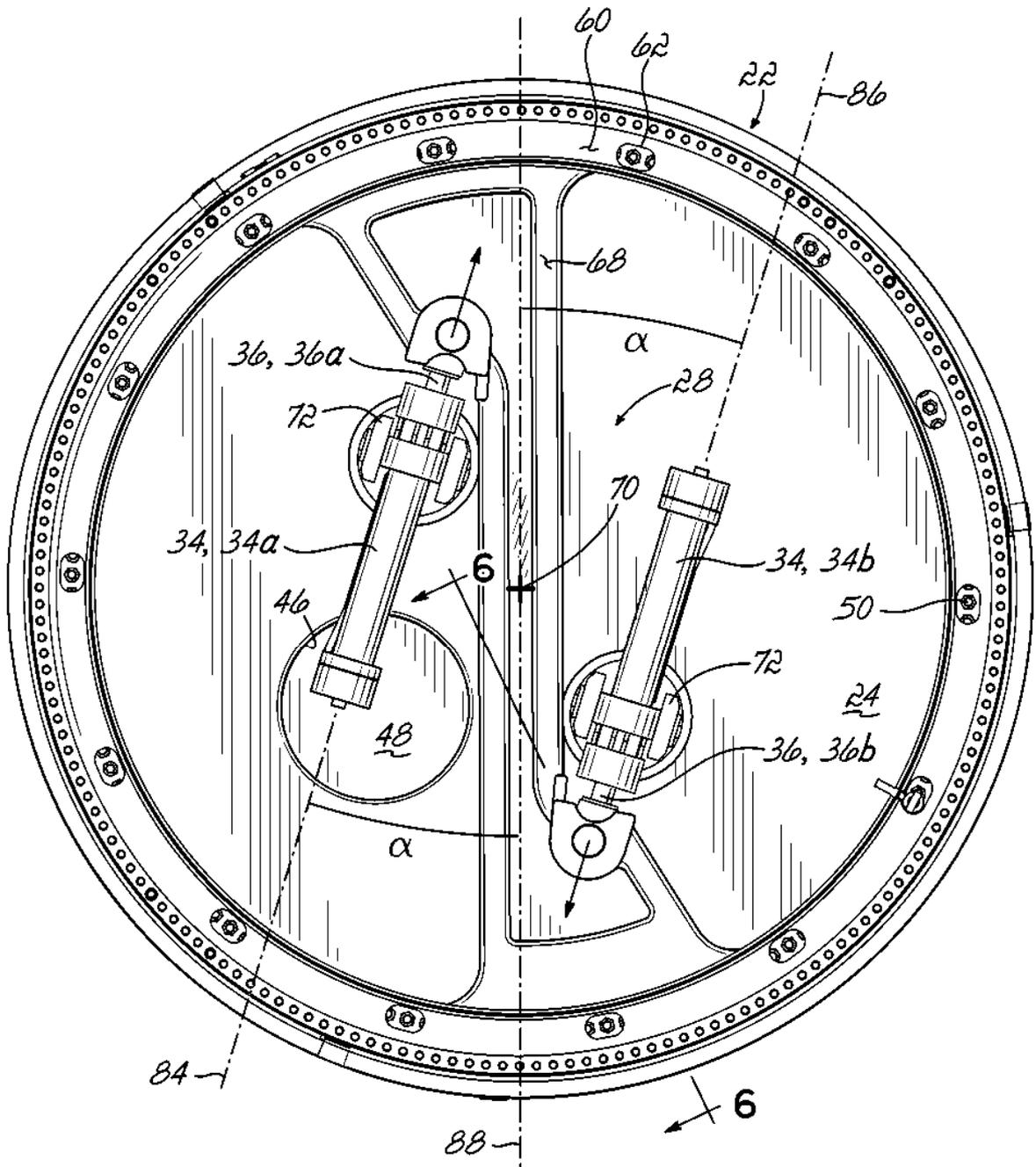


FIG. 5

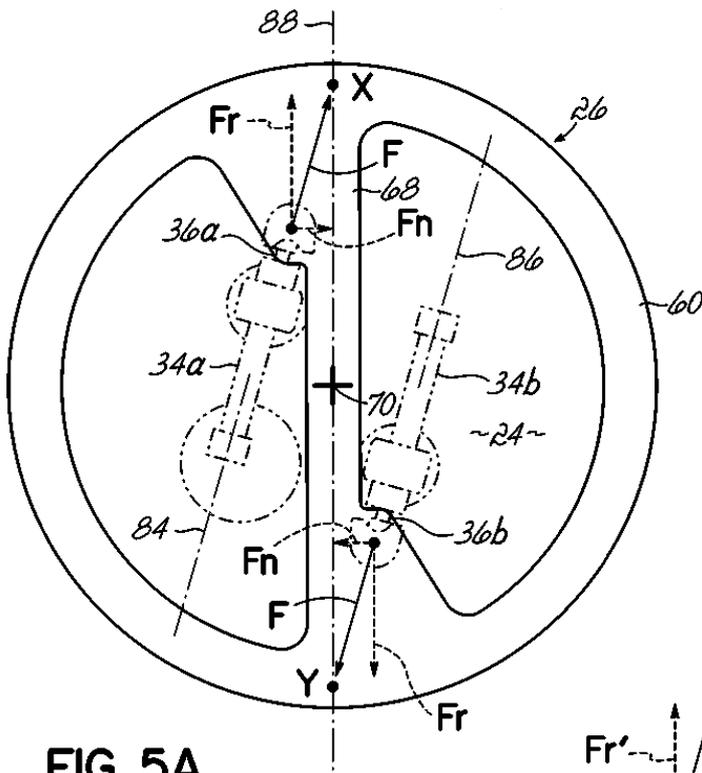


FIG. 5A

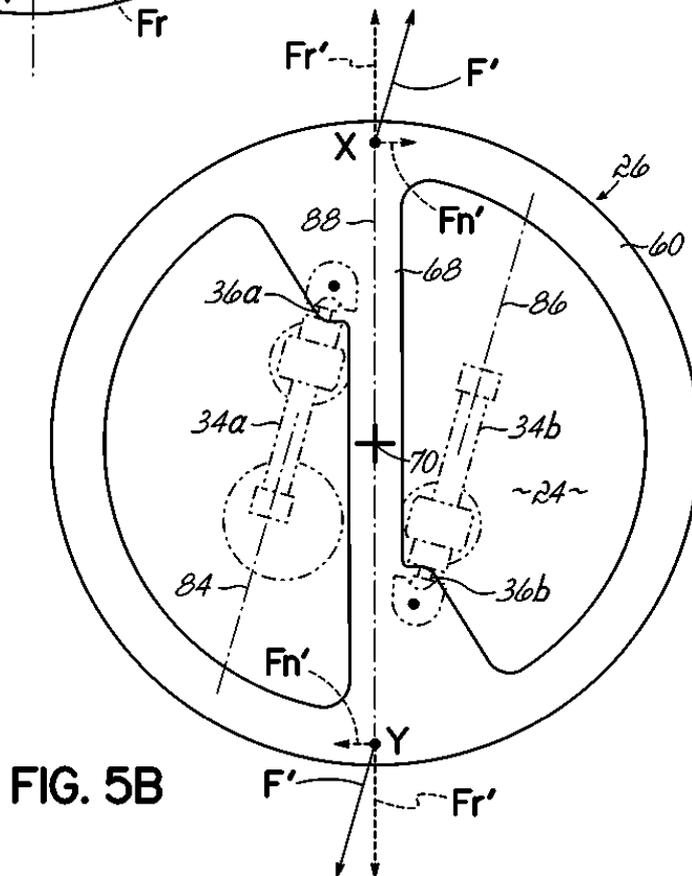
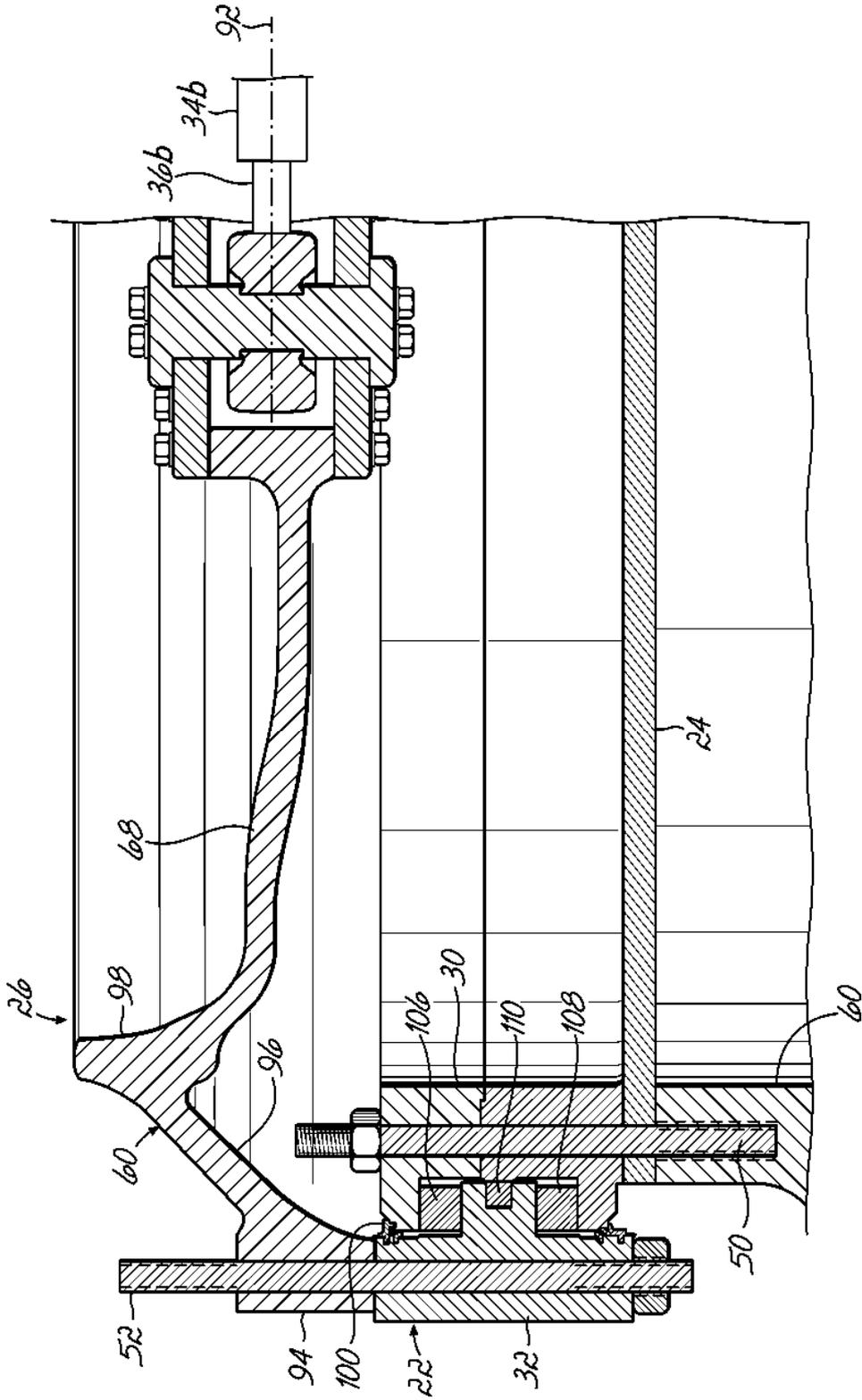


FIG. 5B



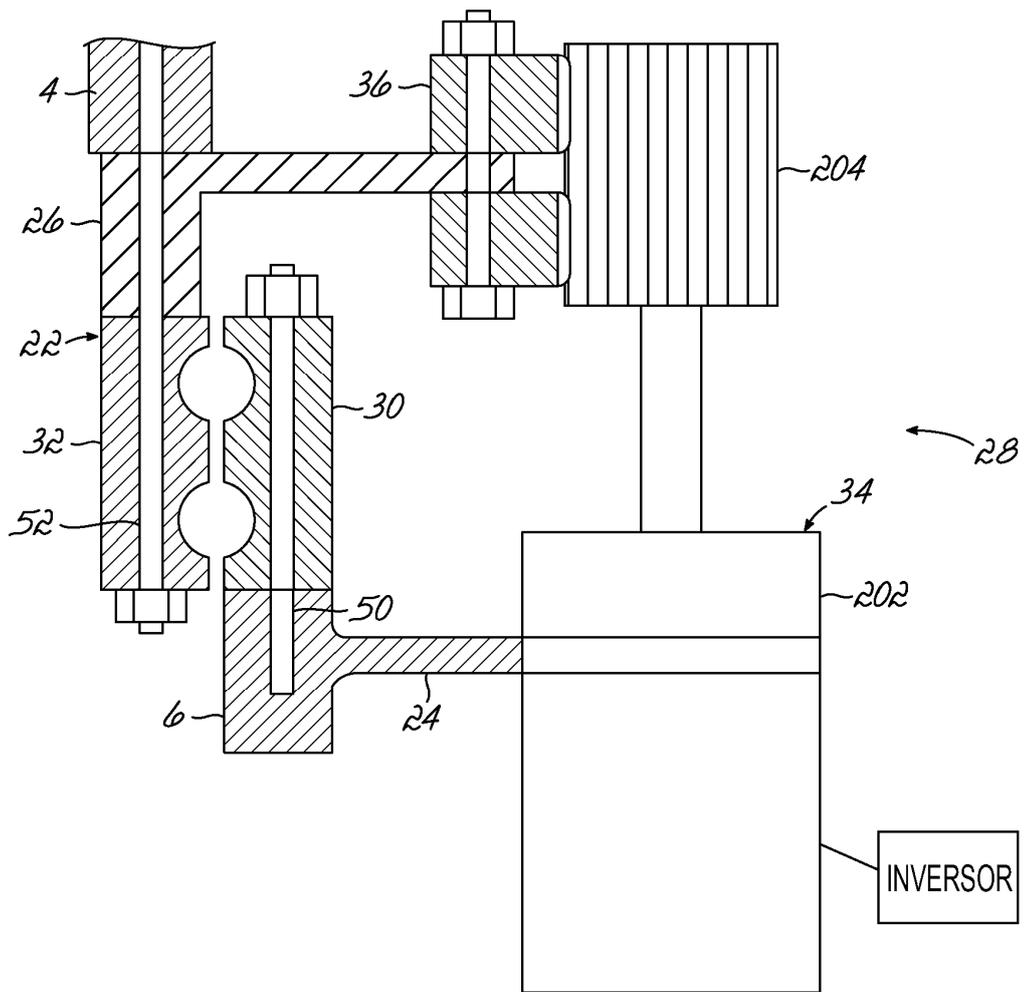


FIG. 7