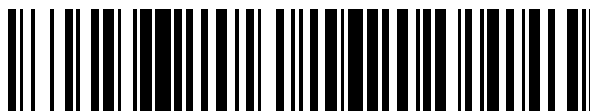


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 674 142**

51 Int. Cl.:

F03D 80/00 (2006.01)

F03D 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2011 E 11190481 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018 EP 2458209**

54 Título: **Una turbina eólica y un método para la regulación del paso de una pala de una turbina eólica**

30 Prioridad:

26.11.2010 DK 201070510

26.11.2010 US 417335 P

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

27.06.2018

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

NEUBAUER, JESPER LYKKEGAARD y

MADSEN, JENS BAY

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 674 142 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

Una turbina eólica y un método para la regulación del paso de una pala de una turbina eólica

5 Antecedentes de la invención

La invención se refiere a una turbina eólica que comprende al menos un conjunto de pala de turbina eólica. El conjunto de pala incluye una pala, un cojinete de paso dispuesto entre la pala y un buje de la turbina eólica y además incluye dos o más cilindros hidráulicos de paso para la regulación del paso de la pala con relación al buje.

10 La invención se refiere además a un método para la regulación del paso de una pala de una turbina eólica.

Descripción de la técnica relacionada

15 Una turbina eólica conocida en la técnica comprende una torre de turbina eólica y una góndola de turbina eólica situada en la parte superior de la torre. Se conecta un rotor de turbina eólica con tres palas de turbina eólica a la góndola a través de un árbol de baja velocidad, como se ilustra en la figura 1.

Las turbinas eólicas modernas controlan la carga sobre el rotor mediante la regulación del paso de las palas fuera y hacia el viento incidente. Se cambia el paso de las palas para optimizar la producción de potencia o para proteger a la turbina eólica de sobrecargas dañinas.

20 Para realizar el cambio de paso cada pala está provista con una disposición de cambio de paso que comprende un cojinete de paso entre el buje y la pala, y, por ejemplo, un cilindro hidráulico para proporcionar la fuerza para la regulación del paso de la pala y mantenerla en una posición dada.

25 Según se incrementa el tamaño de las turbinas eólicas modernas, también se incrementa el par necesario para el cambio de paso de las palas y la solución simple a este problema sería justamente incrementar el tamaño del mecanismo de paso. Pero hoy en día el cilindro hidráulico que realiza la operación de cambio de paso ya es tan grande que si ha de incrementarse adicionalmente ha de diseñarse y fabricarse especialmente haciéndolo por lo tanto muy caro.

30 Por ejemplo, a partir de la solicitud de patente canadiense CA 2 667 849 A1 y la patente de Estados Unidos US 4.348.155 A, es conocido por lo tanto proporcionar a cada pala de turbina eólica con un mecanismo de paso que comprende más de un cilindro hidráulico para cambiar el paso de cada pala para de ese modo reducir el tamaño de cada cilindro y permitir que puedan usarse equipos comerciales estándar. Pero estas soluciones implican una distribución de la carga desfavorable.

35 En el documento AU 2009 337882 se desvela un sistema de paso en el que puede usarse un par de accionadores que pueden funcionar en la misma o direcciones opuestas, en donde estos son accionadores lineales accionados eléctricamente.

Un objeto de la invención es por lo tanto proporcionar una técnica ventajosa de regulación del paso de una pala de turbina eólica que tenga una distribución de la carga mejorada.

45 La invención

La invención proporciona una turbina eólica que comprende al menos un conjunto de pala de turbina eólica. El conjunto de pala incluye una pala y un cojinete de paso dispuesto entre la pala y un buje de la turbina eólica, incluyendo adicionalmente el conjunto de pala dos o más cilindros de paso para la regulación del paso de la pala con relación al buje. Los dos o más cilindros de paso comprenden cada uno un primer punto de ataque que se fija hacia la pala y un segundo punto de ataque que se fija hacia el buje y se disponen para expandirse en la misma dirección angular alrededor del eje de rotación del cojinete de paso. Los cilindros de paso comprenden cilindros hidráulicos de paso que se acoplan hidráulicamente en paralelo.

50 Como se ha explicado previamente es ventajoso proporcionar un mecanismo de paso con múltiples cilindros hidráulicos de paso porque de ese modo puede reducirse el tamaño de cada cilindro y pueden usarse equipos comerciales baratos.

60 Además, un cilindro hidráulico comprende dos cámaras internas divididas por el pistón en la carcasa del cilindro. Sin embargo, estas dos cámaras no son idénticas porque la cámara frontal incluye la barra del pistón que se extiende fuera del frente de la carcasa del cilindro. La barra del pistón no está presente en la cámara posterior, lo que significa que el cilindro no es capaz de proporcionar tanta fuerza cuando se contrae como cuando se expande, debido a que el área sobre la que empuja el aceite sobre el pistón se reduce por el tamaño de la sección transversal de la barra del pistón en la cámara frontal.

65 Si se disponen los cilindros hidráulicos de modo que se contraigan y expandan sustancialmente de modo uniforme

en la misma dirección angular, es siempre la misma cámara de todos los cilindros la que tiene que presurizarse. Esto significa que los cilindros proporcionan sustancialmente la misma presión y de ese modo crean una situación de carga simétrica y evitan concentraciones de tensiones.

5 Además, si los cilindros no se disponen de modo que todos ellos se contraigan y expandan sustancialmente de modo uniforme en la misma dirección angular, es imposible o al menos muy difícil hacer funcionar los cilindros en paralelo (hidráulicamente), debido a que si se provee a los cilindros con la misma presión de aceite, el cilindro que se expande proporcionará siempre una carga mayor que el cilindro que se contrae. Y si los cilindros no se conectan hidráulicamente en paralelo, el control de los cilindros será mucho más complicado y requerirá más válvulas para
10 hacer funcionar individualmente los cilindros.

Que los cilindros hidráulicos de paso comprendan cada uno un primer punto de ataque que se fija hacia la pala y un segundo punto de ataque que se fija hacia el buje significa en la práctica que los cilindros hidráulicos de paso se acoplan físicamente en paralelo porque un extremo del pistón de los cilindros hidráulicos de paso se acopla
15 directamente o indirectamente a la pala y un extremo de la carcasa del cilindro de los cilindros hidráulicos de paso se acopla directa o indirectamente al buje o viceversa.

El acoplamiento físicamente de los cilindros hidráulicos en paralelo es ventajoso porque proporciona una distribución de carga más simétrica en tanto que se reducen o evitan concentraciones de tensiones no deseadas.

20 Debería remarcarse que el término "directamente" en este contexto significa que el cilindro hidráulico —incluyendo cualesquiera accesorios que pueda comprender— se acopla directamente a la pala o al buje mientras que el término "indirectamente" en este contexto significa que el cilindro hidráulico —incluyendo cualesquiera accesorios que pueda comprender— se acopla indirectamente a la pala o al buje a través de alguna parte intermedia tal como un anillo de
25 cojinete, una transmisión de palanca, una parte de conexión o alguna otra parte que conecta el cilindro hidráulico indirectamente al buje o a la pala.

Debería observarse que la expresión "dispuestos para expandirse en la misma dirección angular alrededor del eje de rotación del cojinete de paso" significa que se disponen dos o más cilindros hidráulicos de paso cada uno dispuesto
30 para aplicar una fuerza de paso a la pala, en el que las fuerzas de cambio de paso dan como resultado vectores de par de cambio de paso que tienen la misma dirección cuando los cilindros se están expandiendo. Es decir cuando los cilindros se están haciendo más largos debido a la presión de aceite incrementada en una cámara dentro de los cilindros hidráulicos —que hace que los cilindros se expandan, porque la barra del pistón del cilindro sobresale
35 adicionalmente fuera de un extremo de la carcasa del cilindro— todos los cilindros ayudarán en la regulación del paso de la pala en una dirección dada. Y de la misma manera, cuando todos los cilindros se contraen actuarán en la misma dirección circunferencial haciendo que la pala gire en la dirección opuesta.

Sin embargo, debería observarse que la expresión "dispuestos para expandirse en la misma dirección angular alrededor del eje de rotación del cojinete de paso" no excluye que uno o más de los cilindros se inviertan con
40 relación a los otros cilindros. Si los cilindros se montan todos para expandirse en la misma dirección angular, todos ellos tendrán que expandirse —y por lo tanto presurizar la misma cámara en todos los cilindros— para mover la pala en una dirección dada, independientemente de si algunos de ellos están invertidos.

Mediante la expresión "punto de ataque que se fija hacia" ha de entenderse que los cilindros que se acoplan en
45 áreas o lugares en donde los cilindros se conectan a la estructura circundante son fijos o sin movimiento con relación a la pala o al buje, respectivamente. Es decir la expresión significa que los cilindros hidráulicos de paso están en un extremo, en la carcasa del cilindro, conectados directa o indirectamente al buje de modo que este punto de ataque no se mueve sustancialmente con relación al buje y en el otro extremo, alrededor del extremo de la barra del pistón, se conectan directa o indirectamente a la pala de modo que este punto de ataque no se mueve sustancialmente con
50 relación a la pala o viceversa.

El acoplamiento hidráulicamente en paralelo de los cilindros de paso, de modo que todos los cilindros estén alimentados con la misma presión desde la misma fuente, es ventajoso porque se reducen o evitan los esfuerzos en exceso y las concentraciones de tensiones no deseadas debido a que si uno de los cilindros estuviera
55 particularmente cargado debido a una carga asimétrica, deformación, desgaste u otra presión extra suministrada para cambiar el paso de la pala se distribuiría a todos los cilindros, mediante lo que todos los cilindros "compartirían" la tarea de superar la carga extra y de ese modo se reduciría también el riesgo de que un único cilindro estuviera sobrecargado. Dicha operación de reparto de cargas también se realiza si los cilindros se acoplan en serie pero el sistema de control sería mucho más complejo y requeriría más válvulas, sensores de carga, etc.

60 En un aspecto de la invención, dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso se distribuyen uniformemente alrededor de dicho eje de rotación de dicho cojinete de paso.

La disposición de los cilindros hidráulicos de paso de modo que se distribuyan uniformemente alrededor del eje de
65 rotación del cojinete de paso es ventajosa porque se reduce de ese modo el riesgo de concentraciones de carga no deseadas en el cojinete de paso, el buje, la pala y/o cualesquiera otras partes en la conexión de transmisión de

carga con los cilindros de paso.

Debería remarcarse que la expresión "uniformemente distribuidas" se ha de entender como que la distancia angular entre los cilindros hidráulicos de paso es sustancialmente uniforme, es decir si el mecanismo de paso comprende dos cilindros hidráulicos de paso la distancia angular entre los cilindros es de aproximadamente 180°, si el mecanismo de paso comprende tres cilindros hidráulicos de paso la distancia angular entre los cilindros es de aproximadamente 120°, si el mecanismo de paso comprende cuatro cilindros hidráulicos de paso la distancia angular entre los cilindros es de aproximadamente 90° y así sucesivamente.

En un aspecto de la invención, dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso se suspenden directamente entre las mismas dos partes.

Mediante la suspensión de todos los cilindros hidráulicos de paso directamente entre las mismas dos partes del rotor se asegura que se reduce el riesgo de concentraciones de cargas no deseadas, porque se evita que la carga de los cilindros hidráulicos de paso sea transformada o transferida a través de recorridos diferentes que podrían implicar diferencias en pérdida y por ello diferencias en impacto, lo que podría conducir a una situación de carga asimétrica en la que podrían tener lugar concentraciones de carga no deseadas.

En un aspecto de la invención, dicho conjunto de pala incluye tres cilindros hidráulicos de paso individuales.

Es particularmente ventajoso que el mecanismo de paso de una pala de turbina eólica comprenda exactamente tres cilindros hidráulicos de paso.

Los cilindros hidráulicos de paso están altamente solicitados durante la operación de la turbina eólica y los cilindros hidráulicos de paso son por lo tanto propensos a la avería. Es por lo tanto conocido el uso de cilindros hidráulicos de paso de una calidad excepcionalmente alta para asegurar que estos cilindros puedan durar toda la vida útil de la turbina eólica. Pero dichos cilindros de alta calidad son muy caros y el riesgo de avería aún no está completamente eliminado.

Es conocido también por lo tanto proveer al mecanismo de paso con dos cilindros hidráulicos de paso individuales. Si un cilindro hidráulico de paso falla el otro cilindro aún puede mantener la operación del paso hasta el siguiente mantenimiento. Sin embargo, si uno de los cilindros hidráulicos de paso tuviera que ser capaz de mantener en solitario el funcionamiento del cambio de paso, habría de dimensionarse para esta finalidad lo que significa que durante el funcionamiento normal el mecanismo de paso estaría provisto con el doble de la capacidad necesaria. Esto implica un mecanismo de paso caro.

Pero si el mecanismo de paso comprende exactamente tres cilindros hidráulicos de paso, cada cilindro podría diseñarse para tener aproximadamente el 50 % de la capacidad del mecanismo de paso requerida de modo que si falla un cilindro de paso, los dos cilindros restantes podrían continuar con plena capacidad o podrían, por ejemplo, dimensionarse para tener el 40 % de la capacidad requerida del mecanismo de paso, de modo que si uno de los cilindros de paso falla los dos cilindros restantes podrían continuar con el 80 % de la capacidad total, lo que sería suficiente para la operación de la turbina eólica en un estado de operación normal o próximo al normal durante un largo período de tiempo —tal como hasta el siguiente mantenimiento planificado o al menos hasta que el personal de mantenimiento llegue a la turbina eólica—.

Se podría argumentar entonces que cuantos más cilindros hidráulicos de paso comprenda el mecanismo de paso mejor, debido a la pequeña capacidad en exceso que tendría durante la operación normal, pero el espacio en el buje es muy limitado y el espacio en cada cojinete de paso está particularmente limitado de modo que no hay suficiente sitio para encajar más de tres cilindros hidráulicos de paso.

Además, el mecanismo de paso de una turbina eólica tendrá que cambiar el paso de las palas dentro de un intervalo angular de 110° de modo que no es físicamente posible encajar más de tres cilindros hidráulicos de paso si cada uno de ellos ha de empujar y tirar de la pala en un intervalo de 110°.

En un aspecto de la invención, dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso se conectan a dicha pala a través de una transmisión de palanca.

Si los cilindros hidráulicos se conectaran directamente entre el buje y la periferia de la pala, la pala tendría aproximadamente solo un movimiento de 100 mm para cada 100 mm de movimiento del pistón del cilindro. Para una operación de cambio de paso normal de una turbina eólica moderna esto requeriría cilindros con un recorrido muy largo, lo que sería caro y difícil o imposible de encajar en el limitado espacio del interior del buje. Sin embargo, mediante la conexión de los cilindros a las palas a través de una transmisión de palanca es posible conectar el movimiento del pistón, por ejemplo, de modo que 100 mm de movimiento del pistón producirían un movimiento de 200 mm en la periferia de la pala. Por lo tanto, se reduce el recorrido necesario de los cilindros de modo que puede reducirse el coste y puede optimizarse el diseño del mecanismo de paso.

En un aspecto de la invención, dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso se conectan giratoriamente a dicho buje y se conectan giratoriamente a dicha pala.

5 La conexión giratoriamente de los cilindros de paso al buje y a la pala es ventajosa porque permite un diseño del mecanismo de paso más simple y debido a que se reduce el riesgo de concentraciones de tensiones no deseadas.

En un aspecto de la invención, uno de dichos puntos de ataque de los cilindros hidráulicos de paso se localiza a una distancia radial de entre el 10 % y el 90 %, preferentemente entre el 20 % y el 80 %, y más preferentemente entre el 30 % y el 70 % del radio exterior de dicho cojinete de paso desde dicho eje de rotación de dicho cojinete de paso.

10 Cuanto más próximo esté el punto de ataque del cilindro al eje de rotación del cojinete de paso más fuerza es necesaria para producir un movimiento de paso dado —lo que podría producir localmente tensiones muy elevadas en el mecanismo de paso y en el buje— y cuanto más separado esté el punto de ataque del cilindro desde el eje de rotación del cojinete de paso mayor tendrá que ser el recorrido del cilindro incrementando de ese modo el coste y la complicación del diseño del mecanismo de paso.

Los intervalos de distancia actuales proporcionan una relación ventajosa entre la reducción de tensiones y la reducción de coste/simplificación del diseño.

20 En un aspecto de la invención, dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso tendrán todos sustancialmente el mismo recorrido.

25 Si un cilindro es más largo que el resto de los cilindros de paso de una pala dada, continuará tirando o empujando de la pala después de que los otros cilindros hayan alcanzado su posición extrema si no se detiene en otra forma. El uso de cilindros que tengan el mismo recorrido es por lo tanto ventajoso porque permite un control del cilindro más simple y asegura una distribución de la carga más simétrica y uniforme.

En un aspecto de la invención, dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso tendrán todos sustancialmente el mismo diámetro.

30 Si todos los cilindros hidráulicos de paso tienen sustancialmente el mismo diámetro todos producirán sustancialmente la misma fuerza con una presión de aceite dada. Esto es ventajoso porque asegura una distribución de la carga más simétrica y uniforme.

35 Debería observarse que por la expresión "el mismo diámetro" se debe entender el mismo diámetro interior de la carcasa del cilindro o el mismo diámetro exterior del pistón del cilindro. Debería observarse también que inherentemente también significa que el diámetro de la barra del pistón es el mismo para todos los cilindros dado que el diámetro del pistón y el diámetro de la barra del pistón han de ser inherentemente consistentes.

40 En un aspecto de la invención, dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso se disponen en o adyacentes a dicho cojinete de paso.

En un aspecto de la invención, dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso se disponen en o adyacentes a dicho cojinete de paso.

45 Dado que el par producido por los cilindros hidráulicos de paso ha de transferirse a través del cojinete de paso para regular el paso de las palas, es ventajoso que los cilindros hidráulicos de paso se dispongan en o en la proximidad del cojinete de paso para simplificar el diseño del mecanismo de paso y para reducir el "brazo" en la dirección axial, lo que podría producir un par no deseado en el plano axial.

50 En un aspecto de la invención, dicho cojinete de paso comprende al menos un anillo interior, al menos un anillo central y al menos un anillo exterior, en el que dicho anillo central está radialmente desplazado hacia el exterior con relación a dicho anillo interior y dicho anillo exterior está radialmente desplazado hacia el exterior con relación a dicho anillo central y en el que se dispone al menos una fila de elementos de rodadura entre dicho anillo interior y dicho anillo central y se dispone al menos una fila adicional de elementos de rodadura entre dicho anillo central y dicho anillo exterior.

60 Tres cojinetes de anillo son más complejos de montar y son más caros que los cojinetes tradicionales con dos anillos pero en cualquier caso el uso de múltiples cilindros hidráulicos de paso en combinación con un cojinete de paso que comprende tres anillos de cojinete concéntricos es particularmente ventajoso porque este tipo de cojinete es más eficiente en la transferencia de las cargas radiales en ambas direcciones radiales, mediante lo que la deformación que se origina por la carga ejercida por los múltiples cilindros hidráulicos de paso puede aceptarse en lugar de compensarse, reduciendo de ese modo el coste global de la disposición del paso e incrementando la duración.

65 En un aspecto de la invención, dicha turbina eólica comprende además un número de válvulas dispuestas para aislar hidráulicamente cada uno de dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso.

continuar sustancialmente la operación normal hasta el siguiente mantenimiento planificado, hasta que pueda realizarse un mantenimiento de emergencia o en casos severos el cilindro en fallo puede aislarse para permitir que la turbina eólica pueda pararse poniendo las palas en posición de estabilidad.

5 La invención proporciona adicionalmente un método para la regulación del paso de una pala de una turbina eólica. El método comprende las etapas de:

- conectar un primer extremo de dos o más cilindros de paso directa o indirectamente a un buje de la turbina eólica,
- 10 • conectar un segundo extremo de los dos o más cilindros de paso directa o indirectamente a la pala, y
- expandir o contraer los dos o más cilindros de paso en la misma dirección angular con relación a un eje de rotación de un cojinete de paso de la pala

15 caracterizado por que los cilindros de paso son cilindros hidráulicos de paso que se acoplan hidráulicamente en paralelo.

La expansión o contracción de los dos o más cilindros hidráulicos de paso en la misma dirección angular es ventajosa porque permite que las cargas proporcionadas por los cilindros de paso y la pala puedan distribuirse más ventajosamente en el mecanismo de paso y en las estructuras circundantes.

20 **Figuras**

La invención se describirá en lo que sigue con referencia a las figuras en las que

- 25 la fig. 1 ilustra una turbina eólica moderna grande tal como se ve desde el frente,
- la fig. 1 ilustra una turbina eólica moderna grande tal como se ve desde el frente,
- la fig. 2 ilustra un buje de turbina eólica que comprende tres palas tal como se ve desde el frente,
- 30 la fig. 3 ilustra una sección transversal simplificada de una góndola de turbina eólica tal como se ve desde el lateral,
- la fig. 4 ilustra una realización de un mecanismo de paso que comprende tres cilindros hidráulicos tal como se ve desde la parte superior,
- 35 la fig. 5 ilustra una sección a través del mecanismo de paso ilustrado en la fig. 4, tal como se ve desde el lateral,
- la fig. 6 ilustra un mecanismo de paso con un cilindro hidráulico invertido tal como se ve desde la parte superior, y
- 40 la fig. 7 ilustra una realización de un mecanismo de paso que comprende dos cilindros hidráulicos tal como se ve desde la parte superior.

45 **Descripción detallada de la técnica relacionada**

La fig. 1 ilustra una turbina eólica 1, que comprende una torre 2 y una góndola de turbina eólica 3 situada en la parte superior de la torre 2. El rotor de la turbina eólica 4, que comprende tres palas de turbina eólica 5, se conecta a la góndola 3 a través del árbol de baja velocidad que se extiende fuera del frente de la góndola 3.

50 La fig. 2 ilustra un rotor de turbina eólica 4 que comprende un buje 7 y tres palas 5 tal como se ve desde el frente.

Tal como se ilustra los cojinetes de paso 9 se disponen entre las palas 5 y el buje 7 para permitir que se puedan girar las palas 5 alrededor de su eje longitudinal y para transferir fuerzas principalmente desde tres orígenes diferentes. Las palas 5 (y los cojinetes 9 en sí mismos, naturalmente) están bajo la constante influencia de la fuerza de gravitación. La dirección de la fuerza de gravitación varía dependiendo de la posición de la pala 5, induciendo diferentes cargas sobre los cojinetes de paso 9. Cuando la pala está en movimiento el cojinete 9 está también bajo la influencia de una fuerza centrífuga, que produce principalmente una tracción axial en el cojinete 9. Finalmente los cojinetes 9 están bajo la influencia de la carga del viento sobre las palas 5. Esta fuerza es de lejos la mayor carga sobre los cojinetes 9 y produce un momento masivo, que han de soportar los cojinetes 9.

60 La carga sobre y desde todos los cojinetes de paso 9 ha de transferirse al buje 7 y adicionalmente al resto de la turbina eólica 1 y el cojinete de paso 9 ha de permitir al mismo tiempo que pueda cambiarse el paso de la pala 5.

En esta realización el rotor 4 comprende tres palas 5 pero en otra realización el rotor 4 podría comprender una, dos, 65 cuatro o más palas 5.

En esta realización la turbina eólica 1 es una turbina eólica 1 de paso regulado pero en otra realización la turbina eólica podría ser justamente asimismo una turbina eólica 1 de pérdida activa regulada dado que tanto las turbinas eólicas 1 de paso regulado como las turbinas eólicas 1 de pérdida activa regulada comprenden un mecanismo de paso 6 para la regulación del paso de las palas 5.

5 La fig. 3 ilustra una sección transversal simplificada de una góndola 3 de una turbina eólica 1 de la técnica anterior, tal como se ve desde el lateral. Las góndolas 3 existen en una multitud de variaciones y configuraciones pero en la mayor parte de los casos el tren de accionamiento de la góndola 3 casi siempre comprende uno o más de los siguientes componentes: una caja de engranajes 15, un acoplamiento (no mostrado), alguna clase de sistema de frenado 16 y un generador 17. Una góndola 3 de una turbina eólica 1 moderna puede incluir también un convertidor 18 (también llamado inversor) y adicionalmente equipo periférico tal como equipo de gestión de la potencia adicional, cabinas de control, sistemas hidráulicos, sistemas de refrigeración y otros más.

15 El peso de toda la góndola 3 incluyendo los componentes de la góndola 15, 16, 17, 18 es soportado por una estructura 19 de la góndola. Los componentes 15, 16, 17, 18 se colocan normalmente sobre y/o conectados a esta estructura 19 de soporte de carga común de la góndola. En esta realización simplificada la estructura 19 de soporte de carga de la góndola solo se extiende a lo largo de la parte inferior de la góndola 3, por ejemplo en la forma de un bastidor de lecho al que se conectan algunos o todos los componentes 15, 16, 17, 18. En otra realización la estructura 19 de soporte de carga podría comprender una campana de engranajes que a través de un cojinete principal (no mostrado) podría transferir la carga del rotor 4 a la torre 2, o la estructura 19 de soporte de carga podría comprender varias partes interconectadas tal como una estructura reticular.

20 En la realización ilustrada las palas 5 de la turbina eólica 1 se conectan al buje 7 a través de cojinetes de paso 9, que permiten que las palas 5 puedan girar alrededor de su eje longitudinal.

25 En esta realización el mecanismo de paso 6 comprende medios para el giro de las palas 5 en la forma de cilindros hidráulicos 10 conectados al buje 7 y a las palas respectivas 5.

30 Descripción detallada de la invención

La fig. 4 ilustra una realización de un mecanismo de paso 6 que comprende tres cilindros hidráulicos 10 tal como se ve desde la parte superior.

35 En esta realización de la invención la turbina eólica comprende un cierto número de conjuntos de pala 28 conectados al buje 7 de la turbina eólica. Cada conjunto de pala 28 comprende una pala 5, un cojinete de paso 9 y un mecanismo de paso 6 que en este caso comprende tres cilindros hidráulicos 10 pero en otra realización el mecanismo de paso 6 podría comprender otro número de cilindros hidráulicos 10 tal como dos, cuatro, cinco o más.

40 En esta realización los cilindros hidráulicos 10 se acoplan físicamente en paralelo de modo que todos los cilindros hidráulicos 10 actúan directamente entre las mismas dos partes porque el extremo del pistón 11 de todos los cilindros hidráulicos 10 se acopla giratoriamente directamente a una parte de conexión 14 del conjunto de pala 28 — y de ese modo indirectamente a la pala 5— y el extremo de la carcasa del cilindro 12 de todos los cilindros hidráulicos 10 se acopla giratoriamente directamente al buje 7.

45 Sin embargo, en otra realización solo algunos de los cilindros hidráulicos 10 podría acoplarse físicamente en paralelo mientras que otros cilindros hidráulicos 10 podrían acoplarse físicamente en serie, por ejemplo, acoplarse extremo con extremo y algunos o todos de los cilindros hidráulicos 10 podrían montarse de modo diferente de modo que un extremo 11, 12 de uno o más de los cilindros hidráulicos 10 podría conectarse directamente al buje 7, a un anillo 24, 25, 26 del cojinete de paso 9 o a alguna parte intermedia o accesorio conectado a una o más de estas partes 7, 24, 25, 26 y el otro extremo 11, 12 de estos uno o más cilindros hidráulicos 10 se conectaría directamente a la pala 5, a la parte de conexión 14, a un anillo 24, 25, 26 del cojinete de paso 9 o a alguna parte intermedia o accesorio conectado a una o más de estas partes 5, 14, 24, 25, 26.

50 Los cilindros hidráulicos 10 son muy robustos y particularmente adecuados para el movimiento más o menos constantemente alternante necesario para cambiar el paso de una pala de turbina eólica 5 y dado que sustancialmente cualquier clase de sistema hidráulico de paso que comprende un cilindro hidráulico 10 comprenderá inherentemente una función de freno que permite que pueda mantenerse un cierto ángulo de paso a lo largo del tiempo, los cilindros hidráulicos 10 son ventajosos para su uso como accionadores del paso en un mecanismo de paso 6 de una turbina eólica.

60 Además, una energía de reserva para el accionamiento de los cilindros hidráulicos 10 en una situación de emergencia, tal como fallo de la red, fallas operacionales, etc., es relativamente simple y barata porque solo necesitaría instalarse uno o más acumuladores de presión por ejemplo para asegurar que pudiera cambiarse el paso de las palas 5 a una posición segura en caso de fallo.

65 En esta realización el extremo del pistón 11 de los cilindros hidráulicos 10 se conecta giratoriamente a la parte de

conexión 14 y el extremo de la carcasa del cilindro 12 se monta, por medio de un accesorio, en el extremo lejano de la carcasa del cilindro 8, conectado giratoriamente al buje 7 pero en otra realización el extremo de la carcasa del cilindro 12 podría conectarse al buje 7 (directa o indirectamente) por medio de un accesorio colocado en cualquier lado sobre la carcasa del cilindro 8, tal como en el medio de la carcasa del cilindro 8 o en el extremo frontal de la carcasa del cilindro 8 desde el que se extiende la barra del pistón 20.

En esta realización de la invención los cilindros hidráulicos 10 se distribuyen uniformemente alrededor del eje de rotación del cojinete de paso 9 pero en otra realización de la invención los múltiples cilindros hidráulicos 10 podrían distribuirse de modo diferente, por ejemplo, debido al espacio limitado, para proporcionar un acceso más fácil a los cilindros hidráulicos 10 desde la góndola 3 u otro.

En esta realización de la invención los cilindros hidráulicos 10 se acoplan hidráulicamente en paralelo porque la misma cámara 21, 22 en las carcasas de los cilindros 8 de todos los cilindros hidráulicos 10 se alimentan desde la misma fuente, es decir la cámara frontal 21 (la cámara interna que comprende la barra del pistón 20) de los cilindros 10 están todas alimentadas desde el mismo orificio en la misma válvula, desde los mismos orificios en las mismas válvulas, desde la(s) misma(s) bomba(s) o desde la misma fuente similar. De modo similar, la cámara posterior 22 (la cámara interna que no comprende la barra del pistón 20) de los cilindros 10 están todas alimentadas desde el mismo orificio en la misma válvula, desde los mismos orificios en las mismas válvulas, desde la(s) misma(s) bomba(s) o desde la misma fuente similar.

Sin embargo, en otra realización algunos o todos de los cilindros 10 podrían alimentarse desde diferentes fuentes permitiendo de ese modo que los cilindros 10 impacten sobre la pala 5 con diferente fuerza.

En esta realización de la invención los cilindros hidráulicos 10 se conectan a la pala 5 a través de una transmisión de palanca 23 porque los cilindros 10 se conectan a la pala 5 a través de una parte de conexión 14 de modo que el punto de ataque de los cilindros sobre esta parte de conexión 14 se mueve a una distancia radial de aproximadamente el 50 % del radio exterior del cojinete de paso 9 desde el eje de rotación del cojinete de paso 9. De ese modo se permite que cuando el cilindro 10 se expande, por ejemplo, 100 mm, esta extensión conducirá a un movimiento de aproximadamente 200 mm de la pala 5 en la periferia de la raíz de la pala, porque la parte de conexión 14 actúa como una transmisión de palanca 23.

Sin embargo debería observarse que el mismo efecto de transmisión de palanca podría conseguirse si uno de los puntos de ataque de los cilindros hidráulicos se dispusiera cerca de la periferia de la pala 5 —es decir en o cerca del radio exterior del cojinete de paso 9— y el otro punto de ataque de los cilindros hidráulicos se dispusiera por ejemplo entre el 30 % y el 70 % del radio exterior del cojinete de paso 9 desde el eje de rotación del cojinete de paso 9 sobre el buje 7 o más probablemente sobre una parte —tal como una parte de conexión— que se fija hacia el buje 7.

En otra realización algunos o todos de los cilindros 10 podrían atacar la parte de conexión 14 a otra distancia desde el eje de rotación del cojinete de paso 9 reduciendo o incrementando de ese modo en consecuencia el efecto de orientación de la transmisión de palanca 23.

En esta realización todos los cilindros 10 son idénticos y todos ellos se conectan de modo similar y por lo tanto todos ellos afectan a la parte de conexión 14, al buje 7 y al cojinete de paso 9 de modo sustancialmente uniforme pero en otra realización algunos o todos de los cilindros hidráulicos 10 podrían variar en tamaño o tipo o algunos o todos de los cilindros hidráulicos 10 podrían montarse de modo diferente de modo que su efecto sobre la parte de conexión 14, el buje 7 y/o el cojinete de paso 9 no sería uniforme.

Con el recorrido dado de los cilindros hidráulicos 10 ilustrados y la orientación proporcionada por la parte de conexión 14 —que en este caso actúa como una transmisión de palanca 23— los cilindros hidráulicos 10 son capaces de girar la pala 5 aproximadamente 110° alrededor de su eje longitudinal pero en otra realización el recorrido podría ser diferente o la orientación podría ser diferente cambiando de ese modo en consecuencia el intervalo de paso.

En esta realización de la invención los cilindros hidráulicos 10 se disponen de modo que todos ellos se contraen y expanden sustancialmente de modo uniforme en la misma dirección angular alrededor del eje de rotación del cojinete de paso, es decir el eje alrededor del que gira uno o más de los anillos de cojinete 24, 25, 26, cuando se cambia el paso de la pala 5 con relación al buje 7. En esta realización los cilindros 10 se disponen de modo que cuando se expanden la pala 5 gira en el sentido contrario a las agujas del reloj y cuando se contraen la pala 5 gira en el sentido de las agujas del reloj, sin embargo en otra realización los cilindros 10 podrían disponerse para girar la pala 5 en el sentido de las agujas del reloj cuando se expanden.

La fig. 5 ilustra una sección través de un mecanismo de paso mostrado en la fig. 4, tal como se ve desde el lateral.

En esta realización de la invención la pala 5 se conecta giratoriamente al buje 7 por medio de un cojinete de paso 9 de tres anillos que comprende un anillo interior 26, un anillo central 25 y un anillo exterior 24. Los anillos del cojinete 24, 25, 26 se disponen de modo que el anillo central 25 está radialmente desplazado hacia el exterior con relación al

anillo interior 26 y el anillo exterior 24 está radialmente desplazado hacia el exterior con relación al anillo central 25.

Sin embargo, en otra realización de la invención la pala 5 podría conectarse de modo giratorio al buje 7 por medio de un cojinete de paso 9 de dos anillos tradicional que comprende solo un anillo interior 26 y un anillo exterior 24 radialmente desplazado pero concéntrico, en el que entre medias se disponen una o más filas 27 de elementos de rodadura 13.

En esta realización se disponen dos filas 27 de elementos de rodadura 13, en la forma de bolas, entre el anillo interior 26 y el anillo central 25 y se disponen dos filas 27 de elementos de rodadura 13 entre el anillo central 25 y el anillo exterior 24. Sin embargo en otra realización de la invención podría disponerse otro número de filas 27 entre el anillo interior 26 y el anillo central 25 y entre el anillo central 25 y el anillo exterior 24 —tal como una fila, tres filas, cuatro filas o más o el número de filas 27 entre el anillo interior 26 y el anillo central 25 podría ser diferente del número de filas 27 entre el anillo central 25 y el anillo exterior 24—.

En esta realización de la invención el anillo exterior 24 y el anillo interior 26 se conectan rígidamente al buje 7 de modo que el anillo exterior 24 y el anillo interior 26 se fijan mutuamente y de ese modo son sustancialmente incapaces de moverse tanto en la dirección radial como en la axial relativamente entre sí. Esto implica que la carga del viento que actúa sobre la pala 5 empujará al anillo central 25 contra el anillo interior 26 en la parte frontal del cojinete de paso 9 para una turbina eólica 1 frente al viento de eje horizontal tradicional. Esta gran carga radial se transfiere al buje 7 a través del anillo interior 26 pero también tratará de tirar del anillo central 25 separándolo del anillo exterior 24 en dicha parte frontal incrementando de ese modo el riesgo de que la unidad del cojinete de paso se dañe. Si el anillo interior 26 y el anillo exterior 24 se conectan rígidamente la distancia entre la superficie interior del anillo exterior 24 y la superficie exterior del anillo interior 26 se mantiene sustancialmente constante en todo momento, reduciendo por ello el riesgo de mal funcionamiento o daño.

Además, si el anillo exterior 24 y el anillo interior 26 se conectan rígidamente, la carga anteriormente mencionada se transferirá por el anillo interior 26 en la parte frontal del cojinete de paso 9 y por el anillo exterior 24 en la parte del cojinete más cercana a la góndola 3 sustancialmente sin que el anillo exterior 24 y el anillo interior 26 se desplacen mutuamente, permitiendo de ese modo que incluso aunque esta carga forzase a los anillos 24, 25, 26 a una forma ligeramente oval en una dirección y los múltiples cilindros hidráulicos de paso 10 trataran de deformar el cojinete de paso 9 en otra dirección, el anillo interior 26 y el anillo exterior 24 rígidamente conectados serán capaces de guiar al anillo central 25 de modo que las deformaciones sean aceptables.

Debería remarcarse que la expresión "rígidamente conectados" se ha de entender como que el al menos un anillo exterior 24 y el al menos un anillo interior 26 están de modo sustancial inflexiblemente fijos relativamente entre sí, es decir ninguno de dichos anillos 24, 26 puede girar o moverse radial o axialmente con relación al otro.

Mediante la conexión del anillo interior 26 y del anillo exterior 24 al buje 7 y del anillo central a la pala 5 se permite un diseño ventajoso con relación a la transferencia de las cargas desde la pala 5 al buje 7, porque es más fácil asegurar un diseño rígido del buje 7, que puede proporcionar una conexión fuerte y rígida entre un anillo exterior y un anillo interior 24, 26 del cojinete de paso 9 de tres anillos. Es también ventajoso, que el peso del material necesario para hacer dicha conexión fuerte y rígida, se desplace más próximo al centro de rotación, reduciendo de ese modo las cargas sobre el buje 7.

Además, mediante la transferencia de la carga de la pala 5 al buje 7 a través de las superficies de transferencia de carga concéntricas tanto del anillo interior 26 como del anillo exterior 24, la carga de y desde la pala 5 y el cojinete de paso 9 puede distribuirse sobre un área mayor del buje 7 reduciendo de ese modo el riesgo de concentraciones de carga no deseadas en el buje 7.

En esta realización los tres anillos de cojinete 24, 25, 26 se forman monolíticamente pero en otra realización algunos o todos los anillos de cojinete 24, 25, 26 podrían subdividirse en dos, tres, cuatro o más partes de anillo separadas que podrían mantenerse juntas por los medios de conexión que conectan el anillo central 25 a la pala 5 y que conectan el anillo interior 26 y el anillo exterior 24 al buje 7 o viceversa.

En esta realización el anillo central 25 se conecta indirectamente a la pala 5 a través de una parte de conexión 14 pero en otra realización el anillo central 25 podría conectarse directamente a la pala 5 o el cojinete 9 podría "voltarse" de modo que el anillo exterior 24 y el anillo interior 26 se conectaran rígidamente a la pala 5 y el anillo central 25 se conectara al buje 7.

En esta realización de la invención los cilindros hidráulicos 10 se disponen en estrecha proximidad a dicho cojinete de paso 9 porque los cilindros hidráulicos 10 se conectan al buje 7 justamente por debajo del cojinete de paso 9. De ese modo se reduce la distancia entre la pala 5 y los cilindros hidráulicos 10 de modo que se reduce el par en el plano axial en toda la longitud del cilindro 10. Sin embargo en otra realización los cilindros hidráulicos 10 podrían montarse incluso más próximos al cojinete de paso 8 y a la pala 5, por ejemplo, conectándose directamente a la superficie interior del anillo interior 26 o los cilindros hidráulicos 10 podrían montarse más alejados del cojinete de paso 9, por ejemplo, proporcionando más espacio para los cilindros hidráulicos 10.

La Fig. 6 ilustra un mecanismo de paso 6 con un cilindro hidráulico 10 invertido, tal como se ve desde la parte superior.

5 En esta realización de la invención, uno de los tres cilindros hidráulicos 10 se monta en una posición invertida de modo que el extremo del pistón 11 del cilindro 10 se conecta al buje 7 en lugar de indirectamente a la pala 5 como lo hacen los otros dos cilindros 10. Debería observarse que incluso aunque algunos de los cilindros 10 se monten en una posición invertida, todos los cilindros 10 aún tendrán que expandirse en la misma dirección angular para girar la pala 5 en una dirección contraria a las agujas del reloj, es decir que para que todos los cilindros 10 se expandan es aún la cámara posterior 22 de todos los cilindros 10 la que ha de presurizarse.

10 La Fig. 7 ilustra una realización de un mecanismo de paso 3 que comprende dos cilindros hidráulicos 10, tal como se ve desde la parte superior.

15 En esta realización de la invención el mecanismo de paso 6 comprende solamente dos cilindros hidráulicos de paso 10, que se disponen de modo que atacan a la pala 5 a través de una parte de conexión 14 —que actúa como una transmisión de palanca 23— sobre lados opuestos del eje de rotación del cojinete de paso 9. Incluso aunque los cilindros 10 se disponen físicamente en paralelo, actúan en la misma dirección angular con relación al eje de rotación del cojinete de paso 9.

20 En esta realización el cojinete de paso 9 es un cojinete de dos anillos estándar en el que el anillo exterior 24 se conecta al buje 7 y el anillo interior 26 se conecta a la pala 5 y a la parte de conexión 14.

25 En esta realización de la invención la parte de conexión 14 se forma como una barra diametral transversal y en las figuras 4 y 6 la parte de conexión 14 se forma como una estructura de tres patas pero en otra realización de la invención la parte de conexión 14 podría formarse como una retícula, como una placa sólida redonda, como una placa redonda que comprende un orificio central o como alguna otra estructura adecuada para la conexión de los cilindros hidráulicos de paso 10 a una turbina eólica y que, por ejemplo, actúen al mismo tiempo como una transmisión de palanca 23.

30 La invención se ha ejemplificado anteriormente con referencia a ejemplos específicos de diseños y realizaciones de turbinas eólicas 1, cojinetes de paso 9, cilindros hidráulicos 10 y otros. Sin embargo, debería entenderse que la invención no está limitada a los ejemplos particulares descritos anteriormente sino que puede diseñarse y alterarse en una multitud de variedades dentro del alcance de la invención tal como se especifica en las reivindicaciones.

35 **Lista**

- 1. Turbina eólica
- 2. Torre
- 3. Góndola
- 40 4. Rotor
- 5. Pala
- 6. Mecanismo de paso
- 7. Buje
- 8. Carcasa del cilindro
- 45 9. Cojinete de paso
- 10. Cilindro hidráulico
- 11. Extremo del pistón
- 12. Extremo de la carcasa del cilindro
- 13. Elementos de rodadura
- 50 14. Parte de conexión
- 15. Caja de engranajes
- 16. Freno
- 17. Generador
- 18. Convertidor
- 55 19. Estructura de góndola
- 20. Barra del pistón
- 21. Cámara frontal
- 22. Cámara posterior
- 23. Transmisión de palanca
- 60 24. Anillo exterior
- 25. Anillo central
- 26. Anillo interior
- 27. Fila de elementos de rodadura
- 28. Conjunto de pala

65

REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica que comprende al menos un conjunto de pala de turbina eólica en el que dicho conjunto de pala incluye una pala (5) y un cojinete de paso (9) dispuesto entre dicha pala y un buje (7) de dicha turbina eólica, incluyendo adicionalmente dicho conjunto de pala dos o más cilindros de paso para la regulación del paso de dicha pala con relación a dicho buje;
- 5 en el que dichos dos o más cilindros de paso comprenden cada uno un primer punto de ataque que se fija hacia dicha pala y un segundo punto de ataque que se fija hacia dicho buje, dichos dos o más cilindros de paso se disponen para expandirse en la misma dirección angular alrededor del eje de rotación de dicho cojinete de paso (9);
- 10 caracterizado por que:
los cilindros de paso son cilindros hidráulicos de paso (10) que se acoplan hidráulicamente en paralelo.
2. Una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso (10) se distribuyen uniformemente alrededor de dicho eje de rotación de dicho cojinete de paso.
- 15 3. Una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en la que dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso (10) se suspenden directamente entre las mismas dos partes.
4. Una turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho conjunto de pala incluye tres cilindros hidráulicos de paso (10) individuales.
- 20 5. Una turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso (10) se conectan a dicha pala (5) a través de una transmisión de palanca (23).
- 25 6. Una turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso (10) se conectan giratoriamente a dicho buje (7) y se conectan giratoriamente a dicha pala.
- 30 7. Una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 6, en la que uno de dichos puntos de ataque de los cilindros hidráulicos de paso se localiza a una distancia radial de entre el 10 % y el 90 %, preferentemente entre el 20 % y el 80 %, y más preferentemente entre el 30 % y el 70 % del radio exterior de dicho cojinete de paso (9) desde dicho eje de rotación de dicho cojinete de paso.
- 35 8. Una turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso (10) tienen todos sustancialmente el mismo recorrido.
9. Una turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso (10) tienen todos sustancialmente el mismo diámetro.
- 40 10. Una turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso (10) se disponen en o adyacentes a dicho cojinete de paso.
- 45 11. Una turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho cojinete de paso (9) comprende al menos un anillo interior (26), al menos un anillo central (25) y al menos un anillo exterior (24), en el que dicho anillo central (25) está radialmente desplazado hacia el exterior con relación a dicho anillo interior (26) y dicho anillo exterior (24) está radialmente desplazado hacia el exterior con relación a dicho anillo central (25) y en el que se dispone al menos una fila de elementos de rodadura (13) entre dicho anillo interior (26) y dicho anillo central (25) y se dispone al menos una fila adicional de elementos de rodadura (13) entre dicho anillo central (25) y dicho anillo exterior (24).
- 50 12. Una turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicha turbina eólica comprende además un número de válvulas dispuestas para aislar hidráulicamente cada uno de dichos dos o más cilindros hidráulicos de paso (10).
- 55 13. Un método para la regulación del paso de una pala (5) de una turbina eólica, comprendiendo dicho método las etapas de:
- conectar un primer extremo de dos o más cilindros de paso directa o indirectamente a un buje (7) de dicha turbina eólica,
 - conectar un segundo extremo de dichos dos o más cilindros de paso directa o indirectamente a dicha pala (5), y
 - expandir o contraer dichos dos o más cilindros de paso en la misma dirección angular con relación a un eje de rotación de un cojinete de paso de dicha pala
- 60 caracterizado por que:
- 65 • los cilindros de paso son cilindros hidráulicos de paso (10) que se acoplan hidráulicamente en paralelo.

14. Un método de acuerdo con la reivindicación 13, en el que dicha turbina eólica es una turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-12.

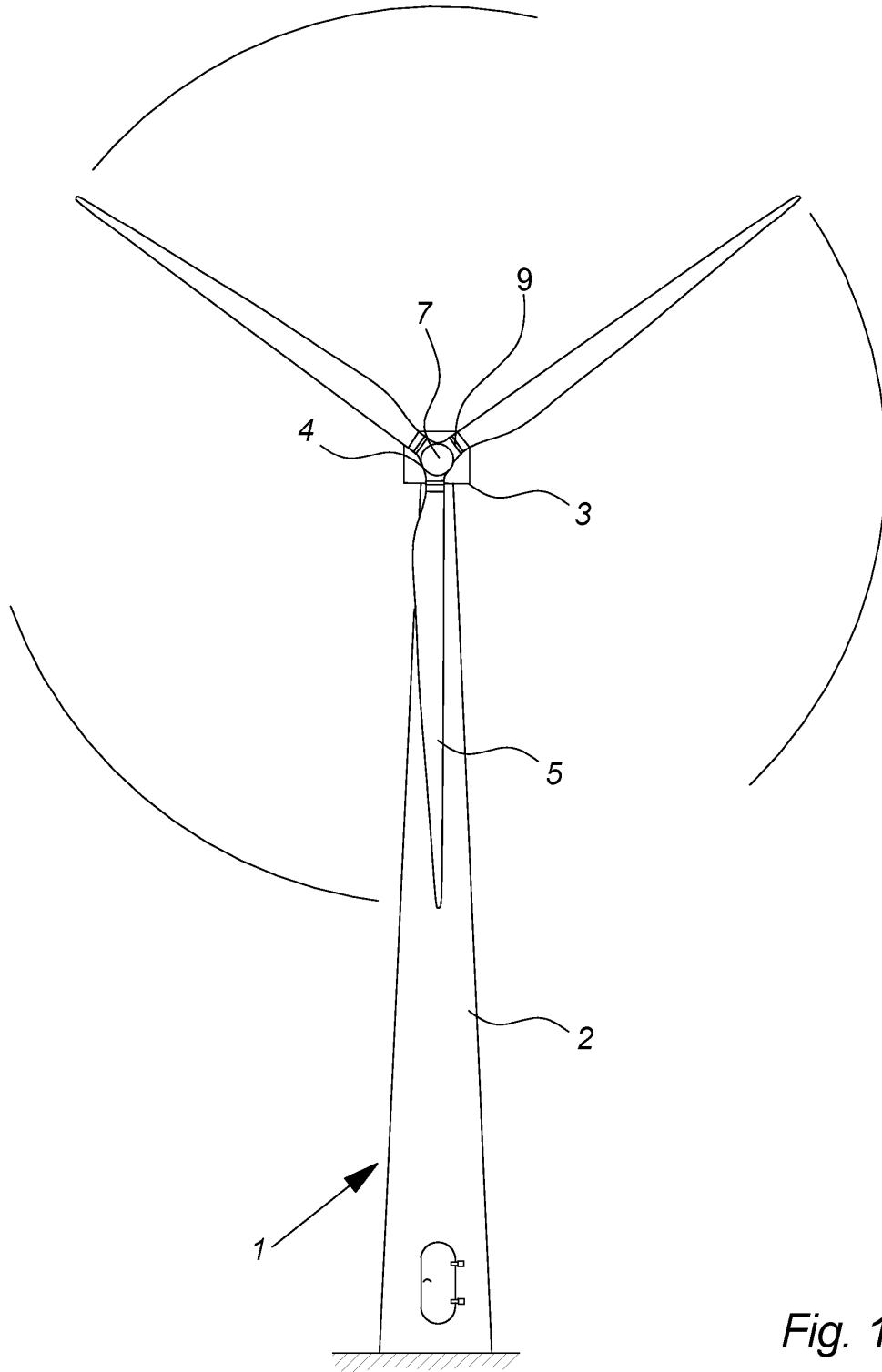


Fig. 1

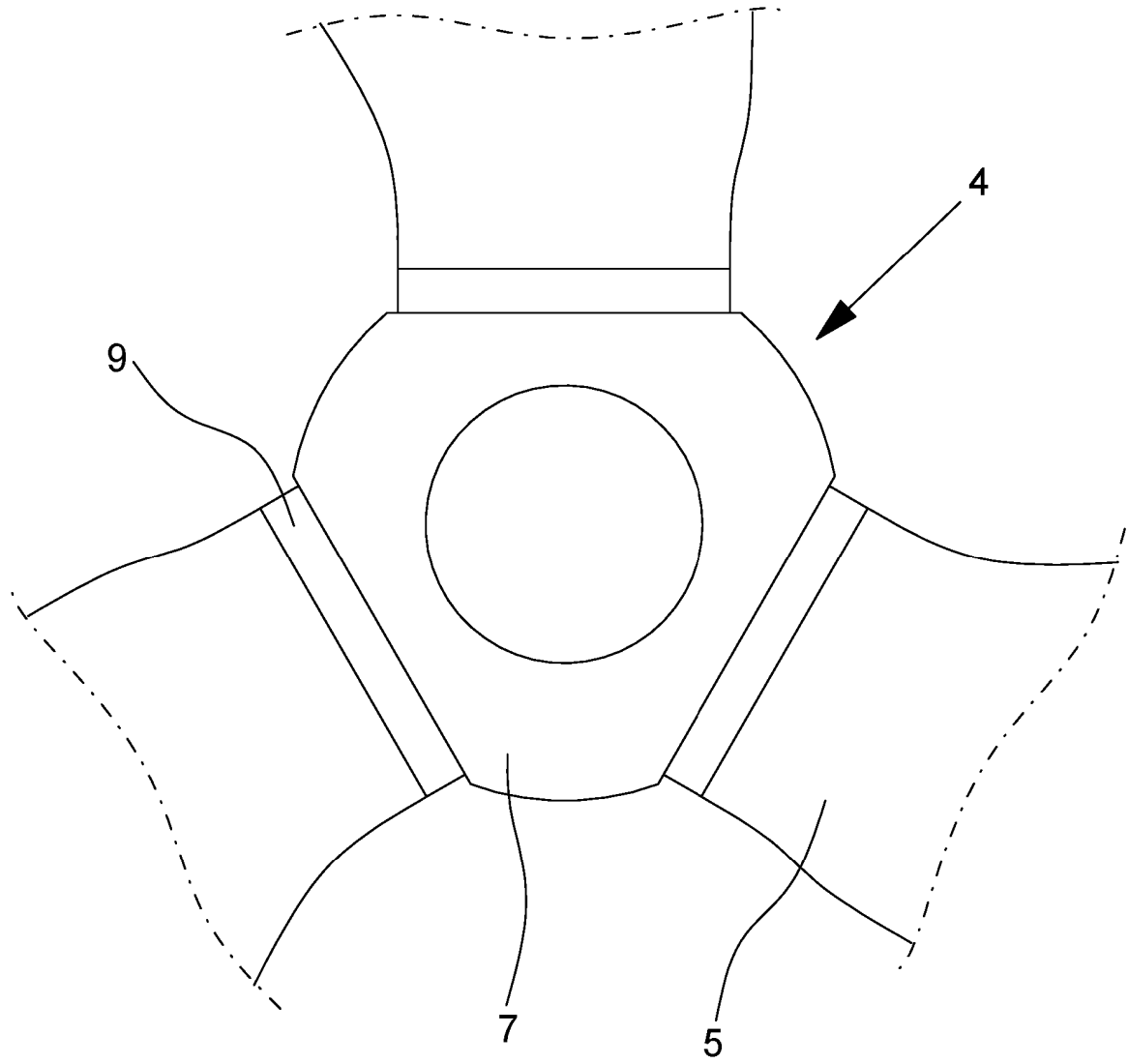


Fig. 2

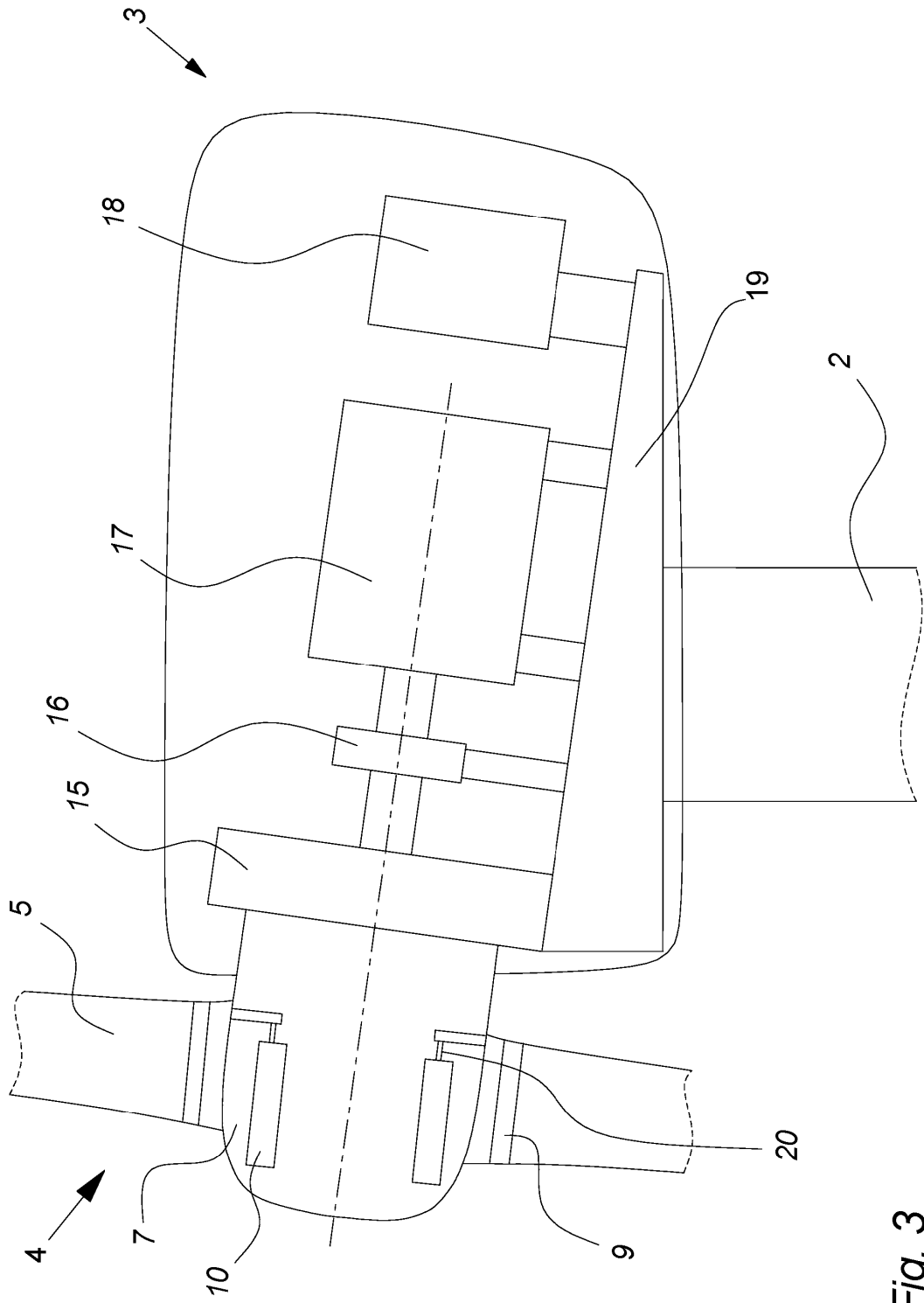


Fig. 3

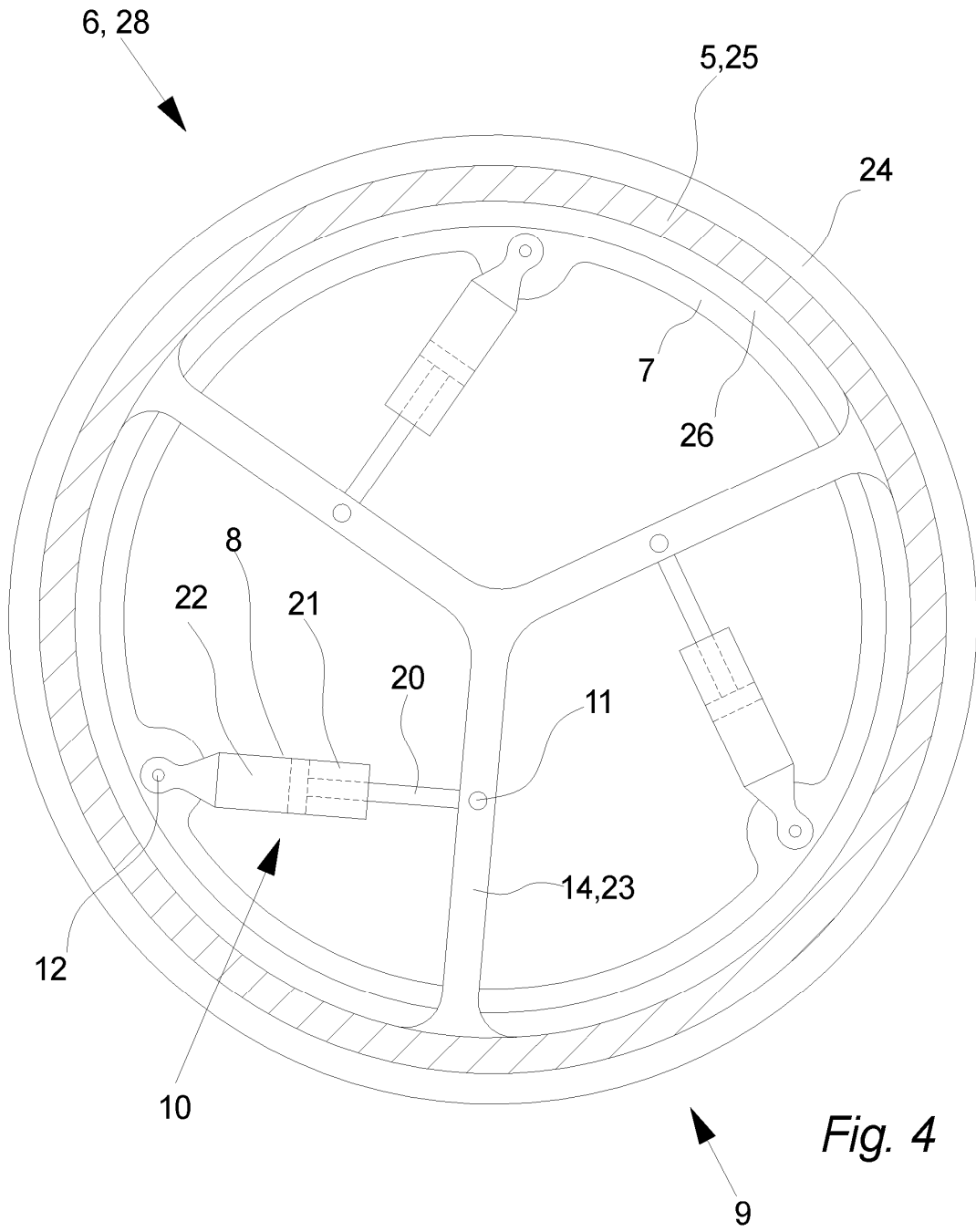


Fig. 4

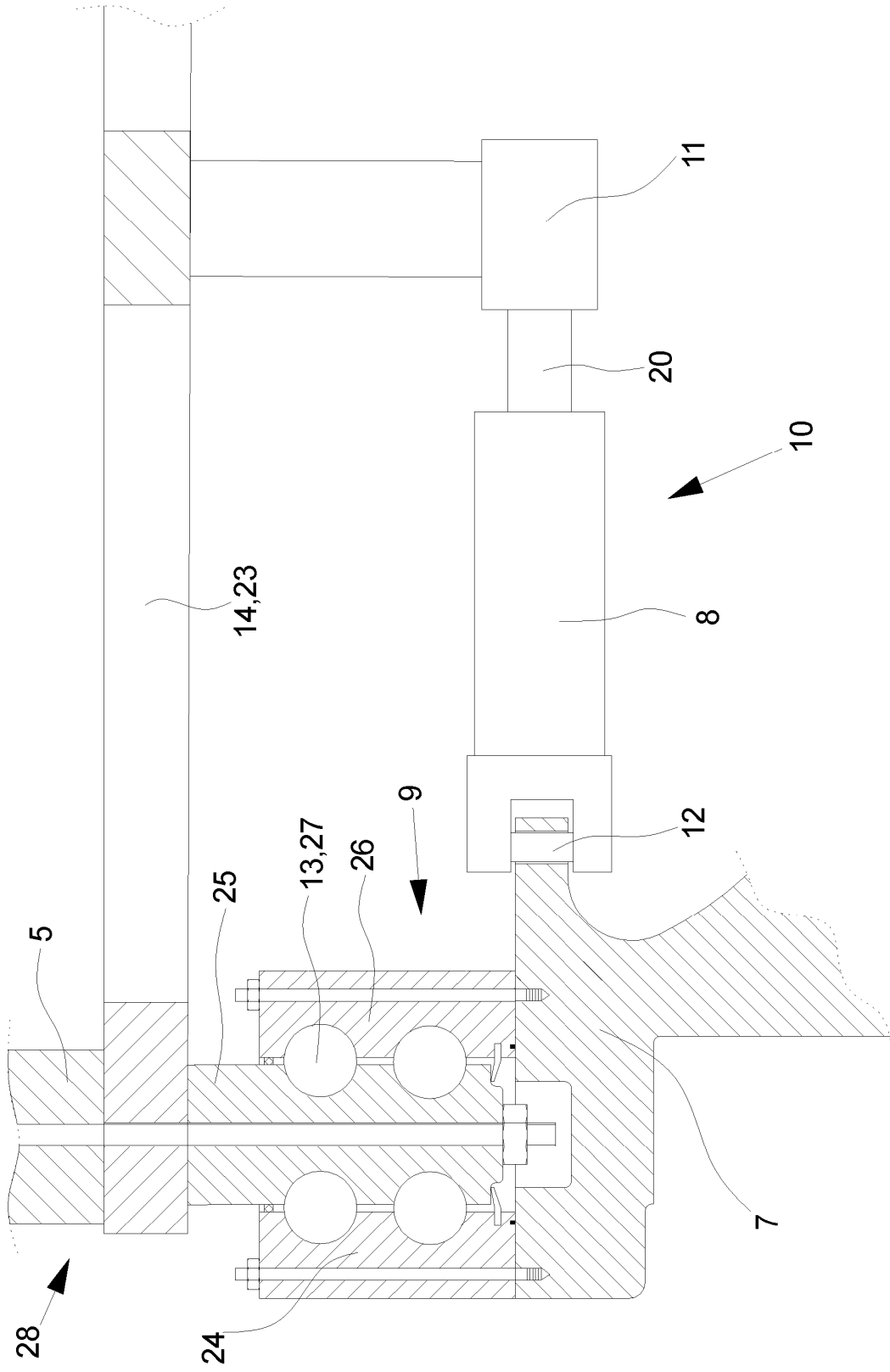


Fig. 5

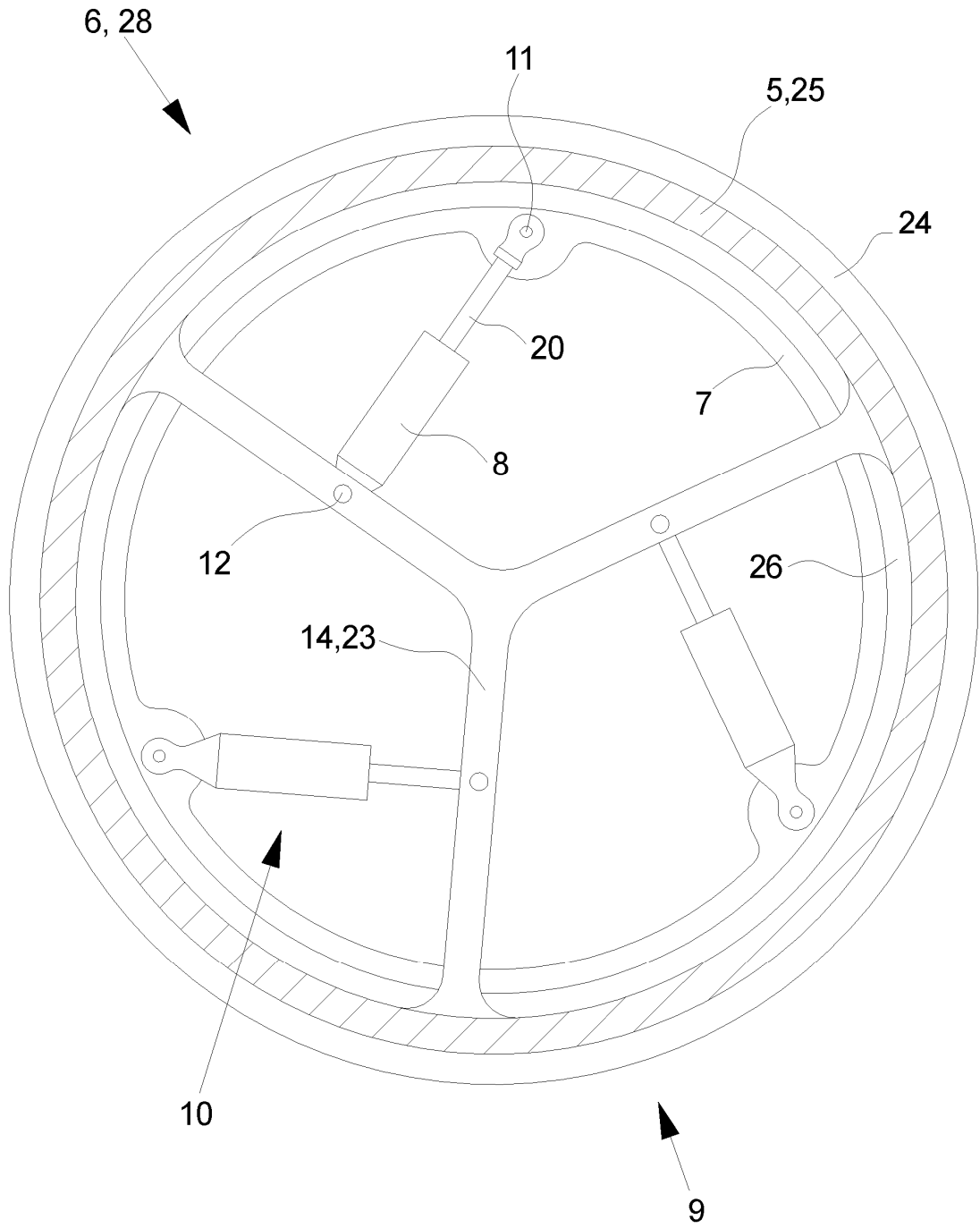


Fig. 6

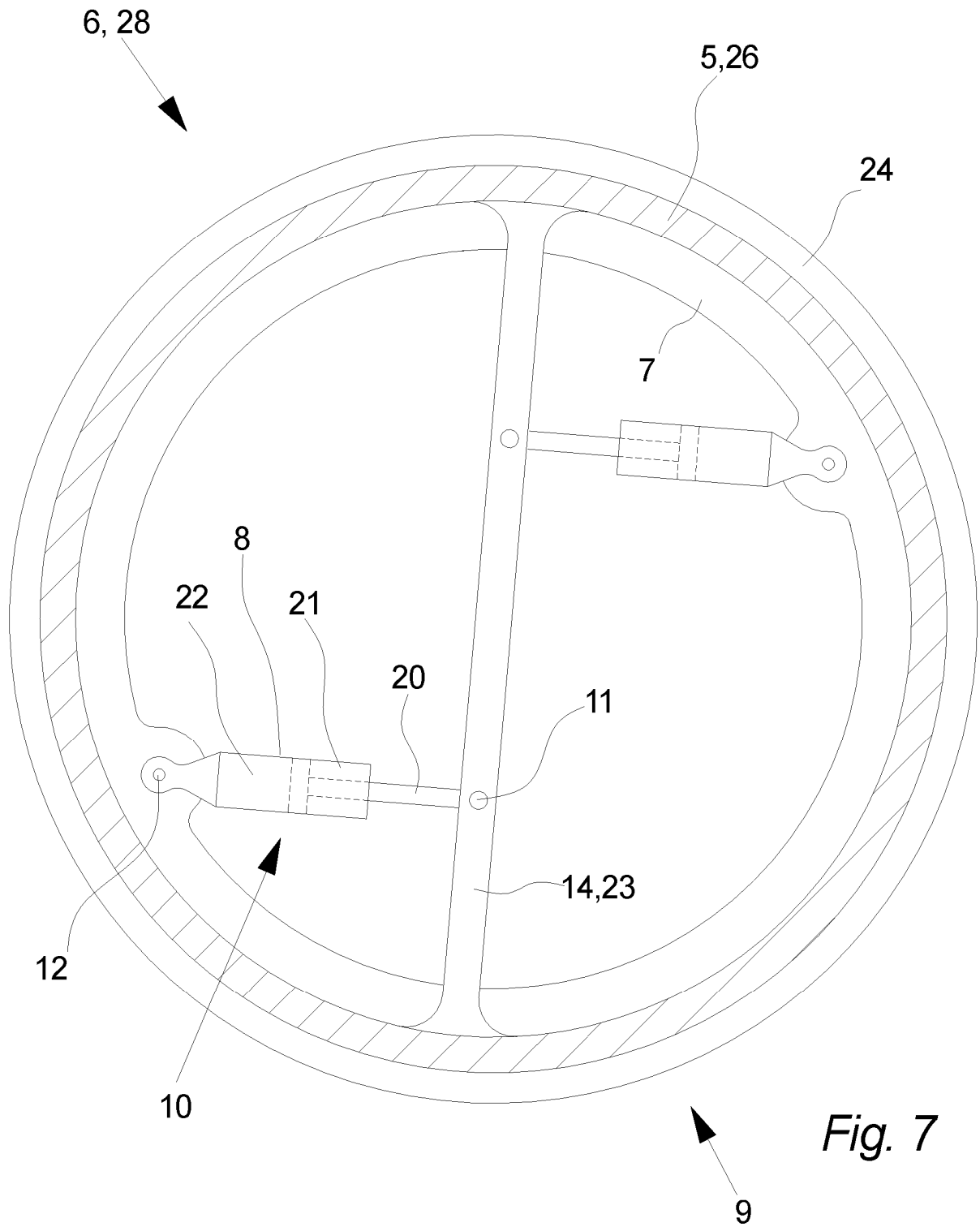


Fig. 7