

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 324**

51 Int. Cl.:

F03D 15/00 (2006.01)

F16H 25/06 (2006.01)

F16H 55/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.07.2021** **PCT/DK2021/050245**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.04.2022** **WO22073571**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2021** **E 21754915 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2024** **EP 4226039**

54 Título: **Sistema de transmisión de potencia de turbina eólica**

30 Prioridad:

06.10.2020 DK PA202070677

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

26.11.2024

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

WEBER, ANDREAS

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 989 324 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de transmisión de potencia de turbina eólica

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a sistemas de transmisión de potencia para turbinas eólicas. Más específicamente, la presente invención se refiere a turbinas eólicas que comprenden un nuevo tipo de caja de engranajes.

Antecedentes de la invención

10 Las turbinas eólicas incluyen normalmente un rotor con grandes palas accionadas por el viento. Las palas convierten la energía cinética del viento en energía mecánica rotacional. La energía mecánica acciona habitualmente uno o más generadores para producir potencia eléctrica. Por tanto, las turbinas eólicas incluyen un sistema de transmisión de potencia para procesar y convertir la energía mecánica rotacional en energía eléctrica. El sistema de transmisión de potencia se denomina algunas veces "tren de potencia" de la turbina eólica. La porción de un sistema de transmisión de potencia desde el rotor hasta el generador se denomina tren de transmisión.

15 Con frecuencia es necesario aumentar la velocidad de rotación del rotor hasta la velocidad requerida por el/los generador(es). Esto se logra mediante una caja de engranajes entre el rotor y el generador, véase, por ejemplo, el documento WO03031811 A2.

20 Por tanto, la caja de engranajes forma parte del tren de potencia y convierte una entrada de baja velocidad, alto par de torsión, a partir del rotor en una salida de par de torsión inferior, velocidad superior, para el generador. Las turbinas eólicas con generadores de velocidad media o alta usan habitualmente cajas de engranajes que proporcionan relaciones de engranajes de entre $i = 30$ e $i = 140$, requiriendo cajas de engranajes con dos o tres etapas de engranajes, que pueden ser estados de engranajes epicicloidales solos o en combinación con etapas de engranajes paralelos. Estos engranajes tienen un determinado VOC (= volumen de control, es decir cuánto volumen se usa), peso, por tanto costes y una eficiencia dada. Se desea encontrar tipos alternativos de cajas de engranajes en los que pueda lograrse una relación de engranajes superior por VOC/peso en el dominio de alto par de torsión de la tecnología de turbinas eólicas modernas.

25 Los documentos US8656809B2 y US8256327B2 dan a conocer un tipo alternativo de sistema de engranaje que incluye dientes radialmente móviles y que se basan adicionalmente en la tecnología, por ejemplo, del documento WO99/36711, ambos usados para reducir una alta velocidad de motor eléctrico hasta la baja velocidad necesaria, por ejemplo, para una función de máquina herramienta (reducción). Por facilidad de referencia, la tecnología tal como se describe en los documentos US8656809B2 y US8256327B2 se denominará a continuación en el presente documento diseño de dientes móviles radiales.

30 Con este diseño de dientes móviles radiales, se espera de manera intuitiva que sólo pueda hacerse funcionar como engranaje reductor, de manera similar a un engranaje de tornillo sin fin. De hecho, la divulgación del documento US8656809B2 es un engranaje reductor, en el que se menciona que, con el diseño de dientes móviles radiales, es posible seleccionar libremente un intervalo de velocidad de rotación de lado de entrada de accionamiento muy alto de hasta aproximadamente 6000 rpm, y además que es posible seleccionar libremente relaciones de transmisión de aproximadamente $i = 10$ a $i = 200$.

35 Con la presente invención, el inventor ha constatado que la tecnología de diseño de dientes móviles radiales también puede usarse para engranajes multiplicadores y que resulta particularmente ventajosa en cajas de engranajes para turbinas eólicas para obtener sistemas de transmisión de turbina eólica compactos.

Sumario de la invención

40 La invención se refiere a una turbina eólica que comprende: una góndola prevista en la parte superior de una torre, un rotor que incluye un buje y varias palas, un árbol principal configurado para accionarse mediante el rotor alrededor de un eje principal y soportado sobre la góndola, un generador que tiene un rotor de generador y un estator de generador, y un sistema de engranaje dispuesto para aumentar la velocidad de rotación entre dicho rotor y dicho rotor de generador. El sistema de engranaje comprende: un engranaje anular fijo, un elemento de entrada acoplado a, o accionado por, el árbol principal que tiene una pluralidad de segmentos de dientes radialmente móviles portados en ranuras de guiado y que pueden engancharse en extremos externos con el engranaje anular, un elemento de salida central dentro del elemento de entrada que tiene un perfil excéntrico externo sobre el que actúan, y accionado por, extremos internos de segmentos de dientes radialmente móviles, mediante lo cual el movimiento rotatorio del elemento de entrada acciona los segmentos de dientes radialmente móviles mediante el enganche con el engranaje anular y realiza la rotación del elemento de salida central.

55 El diseño de dientes móviles radiales introduce nuevos principios básicos en comparación con engranajes tradicionales usados en turbinas eólicas. En vez de engranajes rotatorios, se usa un gran número de segmentos de dientes individuales para conectar entre la entrada y la salida, garantizando un uso múltiple de cada segmento de diente durante una rotación alrededor del centro. Esto proporciona un sistema de engranaje que puede gestionar

relaciones de engranajes entre 10 y aproximadamente 100 en una etapa con una rigidez y densidad de potencia particularmente alta. Además, el sistema de engranaje es muy compacto con una excelente razón de potencia con respecto a tamaño.

5 Un punto clave en el uso del diseño de dientes móviles radiales en máquinas herramientas en el intervalo de potencia de unos pocos kW es que el sistema no presenta holgura. Para máquinas herramientas y dispositivos robóticos, se requiere un posicionamiento extremadamente preciso que no permite ninguna holgura, y además la holgura puede ser perjudicial debido a posibles vibraciones.

10 Con la presente invención, el inventor ha descubierto que, por el contrario, para un propósito en turbinas eólicas en la clase de MW, la carga de los engranajes está mucho más controlada, y los engranajes, en modo operativo, nunca entrarán en contacto con flancos inversos. Por tanto, en turbinas eólicas, se introduce ventajosamente holgura retrayendo el flanco de diente no cargado y realizando de ese modo un ajuste fino para optimizar la eficiencia.

15 En comparación con una caja de engranajes de turbina eólica típica que comprende engranajes tradicionales, para obtener la misma relación con el sistema de diseño de dientes móviles radiales, pueden observarse ahorros significativos en le VOC. En general, teniendo en cuenta la densidad de potencia y VOC, se han observado enormes ventajas. Dado que las partes interiores están realizadas de aceros convencionales tal como se usan habitualmente en cajas de engranajes junto con procedimientos de endurecimiento convencionales, los costes por kg serán similares a las cajas de engranajes actuales, al menos después de implementar la tecnología.

Una característica adicional altamente ventajosa para el uso en turbinas eólicas es que el diseño de dientes móviles radiales ofrece posibilidades únicas para impulsar el aumento a escala, entre otros:

- 20 1. para un par de torsión dado, reduciendo el diámetro externo al proporcionar múltiples filas de segmentos de dientes
2. aumentando a escala el par de torsión mediante el número de segmentos de dientes
3. aumentando a escala el par de torsión mediante el número de filas de dientes

25 Una característica adicional altamente ventajosa para el uso en turbinas eólicas es que el diseño de dientes móviles radiales muestra características beneficiosas en cuanto a ruido y vibraciones.

En realizaciones preferidas de la invención, dicho elemento de entrada es un elemento de entrada anular, es decir un elemento generalmente en forma de anillo. Además, los segmentos de dientes están montados de tal manera que pueden desplazarse radialmente hacia fuera y hacia dentro al interior de ranuras de guiado en el elemento de entrada.

30 En una realización de la invención, cada segmento de diente radialmente móvil está conectado a una almohadilla inclinable a través de una conexión flexible, preferiblemente una conexión de tipo junta cilíndrica; estando dicha almohadilla inclinable adaptada para deslizarse a lo largo de dicho elemento de salida. En otras realizaciones, también puede ser aplicable una conexión de tipo junta de rótula.

35 En una realización de la invención, el elemento de salida tiene una sección transversal generalmente circular con al menos una excentricidad, preferiblemente al menos dos excentricidades. En diversas realizaciones, el elemento de salida tiene al menos una excentricidad sobre la que actúan los segmentos de dientes radialmente móviles cuando los segmentos de dientes radialmente móviles se mueven al interior de dentados correspondientes en el engranaje anular cuando se produce la rotación del elemento de entrada con el fin de transmitir pares de torsión y establecer una relación de transmisión seleccionable. En diversas realizaciones, el número de excentricidades puede ser de al menos dos o al menos tres, incluso al menos cuatro. De este modo es posible establecer o hacer variar una relación de transmisión. Esta relación de transmisión también puede ser ajustable por medio de un número diferente de segmentos de dientes y un número diferente de dentados internos del engranaje anular.

40 En una realización de la invención, dicho elemento de salida está acoplado a al menos una etapa de engranaje adicional, tal como una etapa de engranaje paralelo. La presente invención permite que el nuevo sistema de engranaje se presente de manera autónoma como caja de engranajes completa o se acople junto con etapas de engranajes bien conocidas, tales como etapas de engranajes planetarios o etapas de engranajes paralelos. Cualquier combinación de los mismos también se encuentra dentro del alcance de la presente invención.

45 En una realización de la invención, se permite holgura entre el flanco no cargado y el flanco trasero del engranaje anular. En sistemas ya conocidos que usan el diseño de dientes móviles radiales, la precisión es esencial y no se permite ninguna holgura. En turbinas eólicas esto no es así, lo cual puede permitir diseños más sencillos y más duraderos. Esta holgura puede ser, por ejemplo, de al menos 0,5 mm a lo largo de la dirección circunferencial, tal como al menos 1 mm.

50 En una realización de la invención, dicho sistema de engranaje tiene una relación de transmisión de aumento de velocidad de entre $i = 10$ e $i = 150$, preferiblemente entre $i = 20$ e $i = 75$, tal como entre 25 y 50.

En una realización de la invención, dicho sistema de engranaje tiene un número de segmentos de dientes radialmente móviles de entre 10 y 200, preferiblemente entre 40 y 100.

- 5 En una realización de la invención, dicho sistema de engranaje tiene al menos dos filas de segmentos de dientes radialmente móviles, tal como al menos tres filas. En diversas realizaciones, el número de filas puede ser una única, tal como se muestra en las figuras, pero 2, 3, 4 o 5 también pueden encontrar un gran beneficio al permitir flexibilidad para usar los mismos elementos con diversos niveles de par de torsión. En algunas realizaciones, el número de segmentos de dientes radialmente móviles por fila es de entre 12 y 60.

En una realización de la invención, el diámetro de dicho engranaje anular es de entre 1000 mm y 3500 mm, preferiblemente entre 1500 mm y 2500 mm.

- 10 En una realización de la invención, dichos segmentos de dientes móviles son cilíndricos con un diámetro de entre 10 y 20 cm, y con una longitud de entre 20 y 50 cm. Sobre mencionar que las dimensiones implicadas dentro del sector eólico son mucho mayores que para herramientas. En herramientas, un diámetro de segmento de diente típico es de un máximo de 2 cm con una longitud de un máximo de 5 cm.

- 15 En una realización de la invención, un contorno de flanco de diente externo de un flanco de diente de los segmentos de dientes y/o un contorno de flanco de un dentado de un dentado interno de dicho engranaje anular tiene(n), con respecto a un eje de conjunto de engranaje, un contorno de diente que hace que el contacto de superficie sea posible en una región de enganche, en el que el contacto de superficie se logra mediante el diseño como una espiral logarítmica. Como beneficio del diseño de dientes móviles radiales se encuentra que no usan el flanco de diente envolvente tal como se usa normalmente, sino, en vez de eso, un contorno de flanco que sigue una espiral logarítmica. De este modo, puede lograrse un contacto de superficie mayor en las regiones de enganche.

- 20 En una realización de la invención, independientemente de un radio seleccionado del eje de conjunto de engranaje (M), el contorno de flanco de diente externo de la región de flanco del segmento de diente y el contorno de flanco del sistema de dentado interno del sistema de dentado del engranaje anular corresponden a una espiral logarítmica común (L_n) con un ángulo de paso (α).

- 25 En una realización de la invención, durante el movimiento de carrera de los segmentos de dientes, hay una distribución de carga uniforme, a medida que los segmentos de dientes se desplazan a lo largo de la espiral logarítmica (L_n) y los flancos de dientes de los segmentos de dientes y el engranaje anular dentado interno que están en contacto entre sí siempre tienen el mismo ángulo de paso (α).

- 30 En una realización de la invención, el ángulo de paso (α) es de entre 15° y 75° , tal como entre 20° y 40° . En otras realizaciones, (α) puede ser de entre 30° y 60° .

En una realización de la invención, los segmentos de dientes tienen una curva de punta, que se apoya tangencialmente contra el flanco de diente y se combina en el contorno de flanco de diente externo del mismo.

- 35 En una realización de la invención, un filete de raíz de engranaje anular está previsto entre los contornos de flancos respectivos del dentado interno del engranaje anular, en el que el filete de raíz de engranaje anular está menos curvado que una curva de punta de los segmentos de dientes.

En una realización de la invención, se usa un recubrimiento en al menos una de las siguientes superficies de contacto: segmento de diente con engranaje anular, segmento de diente con elemento de entrada, y almohadilla inclinable con elemento de salida. La pérdida por fricción puede reducirse mediante el uso de un recubrimiento en superficies de contacto apropiadas.

- 40 En una realización de la invención, dicha turbina eólica (2) tiene una potencia nominal de al menos 2 MW, tal como al menos 4 MW.

En una realización de la invención, dicha turbina eólica comprende además:

una estructura de soporte que incluye al menos un cojinete que soporta el árbol principal para la rotación alrededor del eje principal y que restringe otros movimientos;

- 45 en el que dicho sistema de engranaje tiene un alojamiento de caja de engranajes acoplado de manera rígida a la estructura de soporte.

En una realización de la invención, la estructura de soporte incluye además un alojamiento de cojinete que rodea el al menos un cojinete, estando el alojamiento de caja de engranajes suspendido desde dicho alojamiento de cojinete.

- 50 Tal como se mencionó, un generador está conectado a dicho elemento de salida. Un generador tiene un rotor de generador y un estator de generador dentro de un alojamiento de generador, y, en realizaciones preferidas, el alojamiento de generador está acoplado de manera rígida a, y suspendido desde, el alojamiento de caja de engranajes, pero, en otras realizaciones, el alojamiento de generador puede estar posicionado, en vez de eso, adyacente a la caja de engranajes estando dicho rotor de generador conectado a dicho elemento de salida.

En una realización de la invención, el al menos un cojinete comprende un primer cojinete y un segundo cojinete separados dentro del alojamiento de cojinete.

5 En una realización de la invención, dicho engranaje anular está integrado, o acoplado de manera rígida, con dicho alojamiento de cojinete y dicho elemento de entrada está integrado, o acoplado de manera rígida, con dicho árbol principal.

En una realización de la invención, dicho sistema de engranaje está completamente integrado dentro de dicho alojamiento de cojinete de tal manera que dicho engranaje anular, a lo largo del eje de rotación del árbol principal, está posicionado entre dicho primer cojinete y dicho segundo cojinete.

10 Aunque el presente sistema de engranaje es muy compacto en sí mismo, puede obtenerse una solución incluso más compacta integrando completamente el sistema de engranaje en el alojamiento de cojinete. En una solución de este tipo, un generador puede estar posicionado directamente detrás del alojamiento de cojinete.

Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán los aspectos anteriores y otros de la invención, únicamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 15 la figura 1 es una vista en perspectiva de un ejemplo de una turbina eólica,
- la figura 2 es una vista en perspectiva de un sistema de transmisión de potencia para la turbina eólica de la figura 1,
- la figura 3 es una vista en sección transversal del sistema de transmisión de potencia de la figura 2,
- la figura 4 es una vista en perspectiva de un sistema de transmisión de potencia según una realización de la presente invención,
- 20 la figura 5 es una sección transversal ilustrada esquemáticamente a través de una parte de un engranaje según una realización de la presente invención,
- la figura 6 muestra una vista en planta ilustrada esquemáticamente de una realización de un contorno de un flanco de diente y un sistema de dentado interno de un engranaje anular,
- la figura 7 muestra un detalle a escala ampliada ilustrado esquemáticamente en la región de diente de la figura 6; y
- 25 la figura 8 muestra una realización alternativa de la presente invención.

Obsérvese que características que son iguales o similares en diferentes dibujos se designan mediante signos de referencia similares.

Descripción detallada de los dibujos

30 La figura 1 muestra un ejemplo de una turbina eólica 2. Aunque se muestra una turbina eólica en alta mar, debe observarse que la siguiente descripción también puede ser aplicable a otros tipos de turbinas eólicas. La turbina eólica 2 incluye un rotor que incluye palas 4 montadas en un buje 6, que está soportado por una góndola 8 sobre una torre 12. El viento hace que el rotor (las palas 4 y el buje 6) rote alrededor de un eje principal 14 (figura 2). Esta energía rotacional se suministra a un sistema de transmisión de potencia (o "tren de potencia") 10 alojado dentro de la góndola 8.

35 Las figuras 2 y 3 muestran un sistema de transmisión de potencia 10 de la técnica anterior que incluye un árbol principal 16 acoplado al buje 6 (figura 1). El sistema de transmisión de potencia 10 también incluye un primer y segundo cojinetes 18, 20 que soportan el árbol principal 16, un alojamiento de cojinete 22 que rodea el primer y segundo cojinetes 18, 20, y una caja de engranajes 24 que tiene un elemento de entrada accionado por el árbol principal 16. La caja de engranajes 24 aumenta la velocidad de rotación entre el árbol principal 16 y el generador 28.

40 Debe observarse que los elementos mostrados en las figuras 1-3, tales como rotor, buje 6, árbol principal 16 y góndola 8, se muestran únicamente como ejemplos, y pueden variar en cuanto al diseño dentro del alcance de la presente invención.

El tipo de elemento de entrada depende del diseño de caja de engranajes particular. En la figura 3 se muestra una caja de engranajes de la técnica anterior con el uso de un soporte planetario de la primera etapa planetaria, en la

45 que el engranaje anular está fijado al alojamiento, lo cual da como resultado que el engranaje central aumenta la velocidad de rotación para transferir a la siguiente etapa de la caja de engranajes.

La figura 4 muestra un sistema de transmisión de potencia 10 similar al sistema de la técnica anterior en la figura 2, pero ahora con la caja de engranajes 24 de la técnica anterior sustituida por un sistema de engranaje 25 según la presente invención que incluye el engranaje de diseño de dientes móviles radiales. Se observa que los demás

50 componentes del sistema de transmisión de potencia son idénticos, concretamente el generador 28 y el alojamiento

de cojinete 22 que incluye el árbol principal 16. Se observa que, a pesar de la anchura axial mucho menor del nuevo sistema de engranaje en comparación con la caja de engranajes de la técnica anterior, la relación de transmisión de las cajas de engranajes de las figuras 2 y 4 son comparable. Por tanto, incluso visualmente queda claro que la nueva caja de engranajes que incluye engranajes de diseño de dientes móviles radiales proporciona un enorme ahorro de volumen y, por consiguiente, también de peso de la caja de engranajes en comparación con cajas de engranajes tradicionales en turbinas eólicas.

La funcionalidad fundamental del engranaje de diseño de dientes móviles radiales se describe en detalle en los documentos US8656809B2 y US8256327B2 y se hace referencia a esos documentos con respecto a detalles adicionales en el método de funcionamiento del engranaje de diseño de dientes móviles radiales.

La figura 5 muestra una parte de un conjunto de engranaje coaxial R con un engranaje de diseño de dientes móviles radiales y ahora se describirá en el contexto de una realización de la invención en la que se usa el engranaje de diseño de dientes móviles radiales para aumentar la velocidad de rotación relativa entre el buje 6 y el rotor de generador.

El engranaje anular 50 es una parte fija y es un componente fijado al, o formado como parte del, alojamiento de caja de engranajes. Sus segmentos de dientes están equipados con flancos que siguen una espiral logarítmica 56. Varios segmentos de dientes 52 idénticos, en forma de cilindro, igualmente equipados con flancos que siguen una espiral logarítmica, se captan por el soporte de dientes 53, actuando en este caso como elemento de entrada. Además, los segmentos de dientes 52 están montados de tal manera que pueden desplazarse radialmente hacia fuera y hacia dentro en el interior de las ranuras de guiado en el soporte de dientes 53.

El soporte de dientes 53 representa el árbol de entrada y está físicamente conectado a, y rota con la misma velocidad de rotación que, el árbol principal 16. Los segmentos de dientes 52 descansan todos ellos sobre almohadillas inclinables 54 idénticas que se guían mediante un árbol excéntrico 55. Este árbol, que también puede denominarse árbol de leva, tiene un diámetro básico de r_1 y una o más excentricidades de e , de modo que el máximo excéntrico r_2 es $r_1 + e$.

Un cojinete deslizante está previsto entre el contorno externo del árbol excéntrico 55 y las almohadillas inclinables 54. El soporte rotatorio 53 acciona los segmentos de dientes 52 y los segmentos de dientes 52 accionan de ese modo el árbol excéntrico 55, actuando en este caso como elemento de salida, que rota con una velocidad aumentada en comparación con el soporte 53. El sentido de rotación entre el soporte 53 y el árbol de salida 55 puede ser igual u opuesto, dependiendo de los parámetros de diseño usados.

Las almohadillas inclinables garantizan que la fuerza a partir del movimiento radialmente hacia dentro de un segmento de diente se distribuye a lo largo de una zona más grande en el árbol de salida. Las almohadillas inclinables pueden inclinarse para seguir la excentricidad del árbol de salida en todas las posiciones de rotación del árbol de salida. Las almohadillas inclinables presentan, cada una, un cilindro, creando de ese modo una conexión de tipo junta cilíndrica con cada segmento de diente independiente con una indentación correspondiente en la parte radialmente más interna del segmento de diente. Además, las almohadillas inclinables tienen una superficie deslizante en contacto con el árbol de salida. La superficie deslizante en la almohadilla inclinable puede realizarse mediante un recubrimiento o una capa con un material con un bajo coeficiente de fricción sobre la almohadilla inclinable. Alternativamente, puede unirse una almohadilla deslizante independiente específica a la almohadilla inclinable. Alternativamente, toda la almohadilla inclinable puede fabricarse de un material con un bajo coeficiente de fricción.

En algunas realizaciones, las almohadillas inclinables están conectadas entre sí estableciendo una estructura de anillo, mientras que, en otras realizaciones, están simplemente posicionadas unas junto a otras, rellenando de ese modo una circunferencia completa del árbol de salida.

Las figuras 6 y 7 proporcionan ilustraciones esquemáticas de una espiral logarítmica Ln que se origina a partir de un eje de conjunto de engranaje M de un conjunto de engranaje coaxial R. La espiral logarítmica Ln puede tener cualquier ángulo de paso α deseado.

Un contorno de flanco de diente externo 61, 62 de los segmentos de dientes 63 y un contorno de flanco de diente interno 64 y 65 del dentado interno 70 están preferiblemente adaptados al contorno o al recorrido de la espiral logarítmica Ln en función de un ángulo de paso α constante. En este caso, se muestra que ambos contornos de flancos de dientes 61, 62 y 64, 65 tienen simetría especular con respecto a un eje central A.

Sin embargo, no es necesario que esto sea así para turbinas eólicas, en las que no se necesita que la caja de engranajes pueda moverse en ambos sentidos.

Independientemente del radio seleccionado r , cada radio, empezando desde el eje de conjunto de engranaje M del conjunto de engranaje coaxial R, se interseca con el contorno de flanco de diente 61 o 62 y 64 o 65 formando un ángulo de paso α idéntico. El ángulo de paso α puede seleccionarse libremente o está definido por la función de la espiral logarítmica Ln seleccionada.

El desplazamiento de los segmentos de dientes 63 a lo largo de la espiral logarítmica Ln con sus flancos de dientes 61 y 62 con respecto a los flancos de dientes 64 y 65, respectivamente, del dentado interno 70, da como resultado regiones de flanco con el mismo ángulo de paso α que siempre son opuestas entre sí. Como consecuencia, siempre está presente un contacto de cara de diente muy bueno.

- 5 Esto da como resultado que no tiene lugar ningún rodamiento lineal como en los engranajes convencionales, sino, en vez de eso, un desplazamiento plano entre el segmento de diente 63 y el dentado interno 70 del engranaje anular 50, lo cual proporciona una transmisión de par de torsión muy alta con un desgaste menor que en los engranajes convencionales.

- 10 Además, un filete de raíz de engranaje anular 71, con un contorno adaptado tangencialmente al contorno 64 y 65 del engranaje anular 50, está formado entre dos sistemas de dentado 72 adyacentes en la región de la raíz de diente 73 del dentado interno 70.

- 15 En este caso, la curvatura es preferiblemente menor que una curva de punta 74 del segmento de diente 63. La curva de punta 74 del segmento de diente 63 está adaptada de una manera que se combina tangencialmente con los contornos de flancos de dientes 61, 62 de los flancos de dientes. De este modo, se garantiza una transición con pocas sacudidas entre los movimientos ascendentes y descendentes individuales de los segmentos de dientes 63.

Se busca que la zona de contacto sea lo más grande posible para transmitir las fuerzas y momentos más grandes posibles, especialmente en la región de un sistema de dentado 72 del engranaje anular 50. Adicionalmente, debido al movimiento de carrera de los segmentos de dientes 63 con pocas sacudidas, el empuje de vuelta de los segmentos de dientes 63 tiene lugar automáticamente como resultado del diseño del contorno de flanco de diente.

- 20 Una parte preferida de la invención es que el contorno externo de segmentos de dientes, en particular en la región de los flancos de dientes, sigue el contorno de una espiral logarítmica. La espiral logarítmica designa una curva que se interseca con todos los radios que surgen del origen con el mismo ángulo de paso α . Su recorrido está definido por la fórmula $r = e^{a\alpha}$, donde: $\tan \alpha = 1/a$ y a es una constante real, $a > 0$.

- 25 Este ángulo de paso α puede seleccionarse según se desee entre 15° y 75° , tal como entre 30° y 60° , mediante la función correspondiente de la espiral logarítmica, con el resultado de que se influye de ese modo sobre diferentes geometrías de flanco de diente del sistema de dentado interno y de los segmentos de dientes canal. En otras realizaciones, el ángulo de paso α puede seleccionarse según se desee entre 15° y 45° , tal como entre 20° y 40° o entre 25° y 35° .

- 30 Este contorno también se usa como contorno de un sistema de dentado, en particular un sistema de dentado interno del engranaje anular. De este modo, se logra un contacto de superficie completo entre un contorno de flanco de diente del segmento de diente y el contorno de flanco de diente del sistema de dentado en la región de enganche de ambos flancos de dientes del segmento de diente con el sistema de dentado del engranaje anular.

- 35 La geometría de espiral logarítmica garantiza un contacto de superficie completo durante el movimiento radial del segmento de diente en el sistema de dentado interno del engranaje anular, independientemente del radio y el tamaño del engranaje. Además, se obtiene una distribución de carga optimizada (distribución de presión), con el resultado de que puede ser posible una transmisión muy buena de un alto par de torsión. Además, el desgaste puede ser menor que en cajas de engranajes de turbinas eólicas tradicionales, y en particular el desgaste resultante será uniforme en las superficies de flanco. Esto puede dar como resultado una vida útil más prolongada y menos mantenimiento necesario, lo cual tiene mucha importancia en la industria de turbinas eólicas, en la que debe evitarse lo más posible el tiempo de parada.

- 40 Teniendo en cuenta que hay $z_2 = 80$ segmentos de dientes en el engranaje anular y que el árbol central presenta $z_1 = 2$ máximos excéntricos, la relación de engranajes entre el soporte 53 y el árbol 55 se calcula como

$$i_{\text{sistema}} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{80}{2} = 40$$

- 45 Cada segmento de diente 52 tiene un contacto lineal con el sistema de dentado interno del engranaje anular (véase la figura 7) que, debido a que el contorno de flanco sigue una espiral logarítmica, se desarrolla como un contacto hidrodinámico completo, es decir que se usa un contacto de superficie en lugar de un contacto lineal. No hay ningún contacto de rodamiento tal como se conoce a partir de engranajes envolventes. Cada segmento de diente puede alinear el contacto con el engranaje anular alrededor de su propio eje debido a la forma cilíndrica del segmento de diente y la almohadilla inclinable. De ese modo, puede alcanzarse un factor de distribución de carga ideal, de manera similar a $K_H\beta = 1,0$ en un engranaje envolvente, en el que el valor habitual es de aproximadamente 1,15.

- 50 Debe observarse que la palanca corta de las fuerzas entre las cabezas de los segmentos de dientes 52 y el soporte de dientes 53 de soporte es un motivo para la rigidez extrema de este diseño de engranaje, que proporciona un efecto positivo sobre la dinámica de una turbina eólica.

En realizaciones preferidas, el elemento de salida 55 está dispuesto radialmente dentro de, y coaxialmente con, el soporte de dientes 53 que forma el elemento de entrada.

La relación de transmisión deseada puede elegirse por medio de la selección de un número diferente de segmentos de dientes en relación con los dentados del engranaje anular 50 o el elemento de salida 55, en particular también por medio de la selección de un contorno externo del elemento de salida 55. Es posible seleccionar o establecer la relación de transmisión, en particular por medio de la selección de los diferentes enganches de diente o por medio del diferente número de enganches de los segmentos de dientes.

En las figuras mostradas anteriormente, sólo se usa una fila de segmentos de dientes en el sistema. Sin embargo, debe observarse que filas adicionales de segmentos de dientes dispuestas en la dirección axial también pueden ser ventajosas. Por ejemplo, con respecto al ajuste a escala, puede esperarse que el mismo sistema pueda duplicar el par de torsión que puede transferirse duplicando las filas de segmentos de dientes. Por tanto, 1, 2 o 3 filas de segmentos de dientes e incluso filas adicionales de segmentos de dientes son realizaciones alternativas dentro del alcance de la presente invención.

Además, debe observarse que la caja de engranajes con diseño de dientes móviles radiales tal como se muestra en el presente documento puede combinarse ventajosamente con cajas de engranajes convencionales usadas en turbinas eólicas. Por ejemplo, combinar una etapa de diseño de dientes móviles radiales con una etapa paralela, o con dos etapas de engranajes paralelos. Pueden usarse incluso combinaciones con etapas planetarias si se desea.

La figura 8 da a conocer una realización alternativa, que hace que el sistema de transmisión de potencia de turbina eólica sea incluso más compacto que en la figura 4. En este caso, en vez de eso, la nueva caja de engranajes está completamente integrada en el árbol principal/alojamiento de cojinete.

De manera similar a la figura 3, el sistema de transmisión de potencia 80 incluye un primer y segundo cojinetes 88, 90 que soportan el árbol principal 86, y un alojamiento de cojinete 92 que rodea el primer y segundo cojinetes 88, 90. En esta realización, la caja de engranajes está integrada en el sistema de transmisión de potencia, de tal manera que el árbol principal 86 está directamente fijado a, y rota con, el soporte de dientes 81 dentro del alojamiento de cojinete 92. La caja de engranajes funciona de manera similar a los principios tal como se describieron anteriormente con un engranaje anular 82 fijado a, o integrado con, el alojamiento de cojinete 92, moviendo radialmente los segmentos de dientes 83, aumentando de ese modo la velocidad de rotación de la sección excéntrica de árbol de salida 84 en comparación con la velocidad de rotación del árbol principal. Esta sección excéntrica 84 está acoplada a, o integrada con, el árbol de salida 85, que entonces está adicionalmente acoplado a un generador (no mostrado). Además, habrá cojinetes (no mostrados) para el árbol de salida 85 presentes, por ejemplo entre el árbol de salida 85 y el árbol principal 86.

El engranaje anular 82 está diseñado como parte integral del alojamiento de cojinete 92, mecanizándose el dentado necesario en el alojamiento de cojinete 92. Alternativamente, el engranaje anular 82 puede sujetarse con bridas o con pernos en el alojamiento de cojinete 92 como una parte independiente, por ejemplo incluyendo surcos mecanizados en el alojamiento de cojinete 92 para aceptar el engranaje anular 82. También pueden ser posibles conexiones mediante elementos semielásticos para igualar desviaciones y/o amortiguar ruido.

El soporte de dientes 81 puede estar diseñado como una parte integral del árbol principal 86. Los agujeros para los segmentos de dientes 83 pueden estar radialmente mecanizados en el árbol principal 86. También es posible disponer del soporte de dientes 81 como una parte independiente y conectarlo entre dos partes del árbol principal 86.

La posición axial del sistema de engranaje 25 en el alojamiento de cojinete puede establecerse según se desee.

Dependiendo del tamaño del sistema y otros parámetros, la posición axial ideal puede cambiar, y puede ajustarse en consecuencia tal como se muestra, 87. En una realización, la posición del sistema de engranaje 25 es de entre el 30 % y el 70 % de la distancia entre el primer y segundo cojinetes 88, 90. En otras realizaciones, la posición del sistema de engranaje 25 es de menos del 25 % de la distancia entre el primer y segundo cojinetes 88, 90 desde cualquiera de los mismos.

REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica (2), que comprende:
una góndola (8) prevista en la parte superior de una torre (12);
un rotor que incluye un buje (6) y varias palas (4),
5 un árbol principal (16) configurado para accionarse mediante el rotor alrededor de un eje principal y soportado sobre la góndola (8),
un generador (28) que tiene un rotor de generador y un estator de generador, y
un sistema de engranaje (25) dispuesto para aumentar la velocidad de rotación entre dicho rotor y dicho rotor de generador;
10 caracterizada porque el sistema de engranaje (25) comprende:
un engranaje anular fijo (50),
un elemento de entrada (53) acoplado a, o accionado por, el árbol principal (16) que tiene una pluralidad de segmentos de dientes radialmente móviles (52, 63) portados en ranuras de guiado y que pueden engancharse en extremos externos con el engranaje anular (50),
15 un elemento de salida central (55) dentro del elemento de entrada (53) que tiene un perfil excéntrico externo sobre el que actúan, y accionado por, extremos internos de segmentos de dientes radialmente móviles (52, 63),
mediante lo cual el movimiento rotatorio del elemento de entrada (53) acciona los segmentos de dientes radialmente móviles (52, 63) mediante el enganche con el engranaje anular (50) y realiza la rotación del
20 elemento de salida central (55).
2. Una turbina eólica según la reivindicación 1, en la que dicho elemento de entrada es un elemento de entrada anular.
3. Una turbina eólica según la reivindicación 1 o 2, en la que cada segmento de diente radialmente móvil (52, 63) está conectado a una almohadilla inclinable (54) a través de una conexión flexible, preferiblemente una
25 conexión de tipo junta cilíndrica; estando dicha almohadilla inclinable (54) adaptada para deslizarse a lo largo de dicho elemento de salida (55).
4. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que el elemento de salida (55) tiene una sección transversal generalmente circular con al menos una excentricidad, preferiblemente al menos dos excentricidades.
- 30 5. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en la que dicho elemento de salida (55) está acoplado a al menos una etapa de engranaje adicional, tal como una etapa de engranaje paralelo.
6. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que el sistema de engranaje muestra holgura entre el flanco no cargado y el flanco trasero del engranaje anular.
7. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que dicho sistema de engranaje
35 (25) tiene una relación de transmisión de aumento de velocidad de entre $i = 10$ e $i = 150$, preferiblemente entre $i = 20$ e $i = 75$.
8. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en la que dicho sistema de engranaje (25) tiene un número de segmentos de dientes radialmente móviles (52, 63) de entre 10 y 200, preferiblemente entre 40 y 100.
- 40 9. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en la que dicho sistema de engranaje (25) tiene al menos dos filas de segmentos de dientes radialmente móviles.
10. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en la que dicho sistema de engranaje (25) tiene al menos una fila de segmentos de dientes radialmente móviles, y en la que el número de segmentos de dientes radialmente móviles por fila es de entre 12 y 60.
- 45 11. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en la que el diámetro de dicho engranaje anular es de entre 1000 mm y 3500 mm, preferiblemente entre 1500 mm y 2500 mm.
12. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en la que dichos segmentos de dientes móviles (52, 63) son cilíndricos con un diámetro de entre 10 y 20 cm, y con una longitud de entre 20 y

50 cm.

13. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en la que un contorno de flanco de diente externo (61, 62) de un flanco de diente de los segmentos de dientes y/o un contorno de flanco (64, 65) de un dentado (13) de un dentado interno (72) de dicho engranaje anular (50) tiene(n), con respecto a un eje de conjunto de engranaje (M), un contorno de diente que hace que el contacto de superficie sea posible en una región de enganche, en la que el contacto de superficie se logra mediante el diseño como una espiral logarítmica.
14. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en la que, independientemente de un radio seleccionado del eje de conjunto de engranaje (M), el contorno de flanco de diente externo (61, 62) de la región de flanco del segmento de diente (52, 63) y el contorno de flanco del sistema de dentado interno del sistema de dentado del engranaje anular corresponden a una espiral logarítmica común (Ln) con un ángulo de paso (α).
15. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, en la que el ángulo de paso (α) es de entre 15° y 75°, tal como entre 20° y 40°.
16. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, en la que se usa un recubrimiento en al menos una de las siguientes superficies de contacto: segmento de diente (52, 63) con engranaje anular (50), segmento de diente (52, 63) con elemento de entrada (53), y almohadilla inclinable (54) con elemento de salida (55).
17. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, en la que dicha turbina eólica (2) tiene una potencia nominal de al menos 2 MW, tal como al menos 4 MW.
18. Una turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, que comprende además:

una estructura de soporte que incluye al menos un cojinete (18, 20) que soporta el árbol principal (16) para la rotación alrededor del eje principal y que restringe otros movimientos;

en la que dicho sistema de engranaje tiene un alojamiento de caja de engranajes acoplado de manera rígida a la estructura de soporte.
19. Una turbina eólica según la reivindicación 18, en la que la estructura de soporte incluye además un alojamiento de cojinete (22) que rodea el al menos un cojinete (18, 20), estando el alojamiento de caja de engranajes suspendido desde dicho alojamiento de cojinete (22).
20. Una turbina eólica según la reivindicación 19, en la que el al menos un cojinete comprende un primer cojinete (18) y un segundo cojinete (20) separados dentro del alojamiento de cojinete (22).
21. Una turbina eólica según la reivindicación 19 o 20, en la que dicho engranaje anular (50) está integrado, o acoplado de manera rígida, con dicho alojamiento de cojinete (22) y dicho elemento de entrada (53) está integrado, o acoplado de manera rígida, con dicho árbol principal (16).
22. Una turbina eólica según la reivindicación 20 o 21, en la que dicho sistema de engranaje (25) está completamente integrado dentro de dicho alojamiento de cojinete (22) de tal manera que dicho engranaje anular (50), a lo largo del eje de rotación del árbol principal (16), está posicionado entre dicho primer cojinete (18) y dicho segundo cojinete (20).

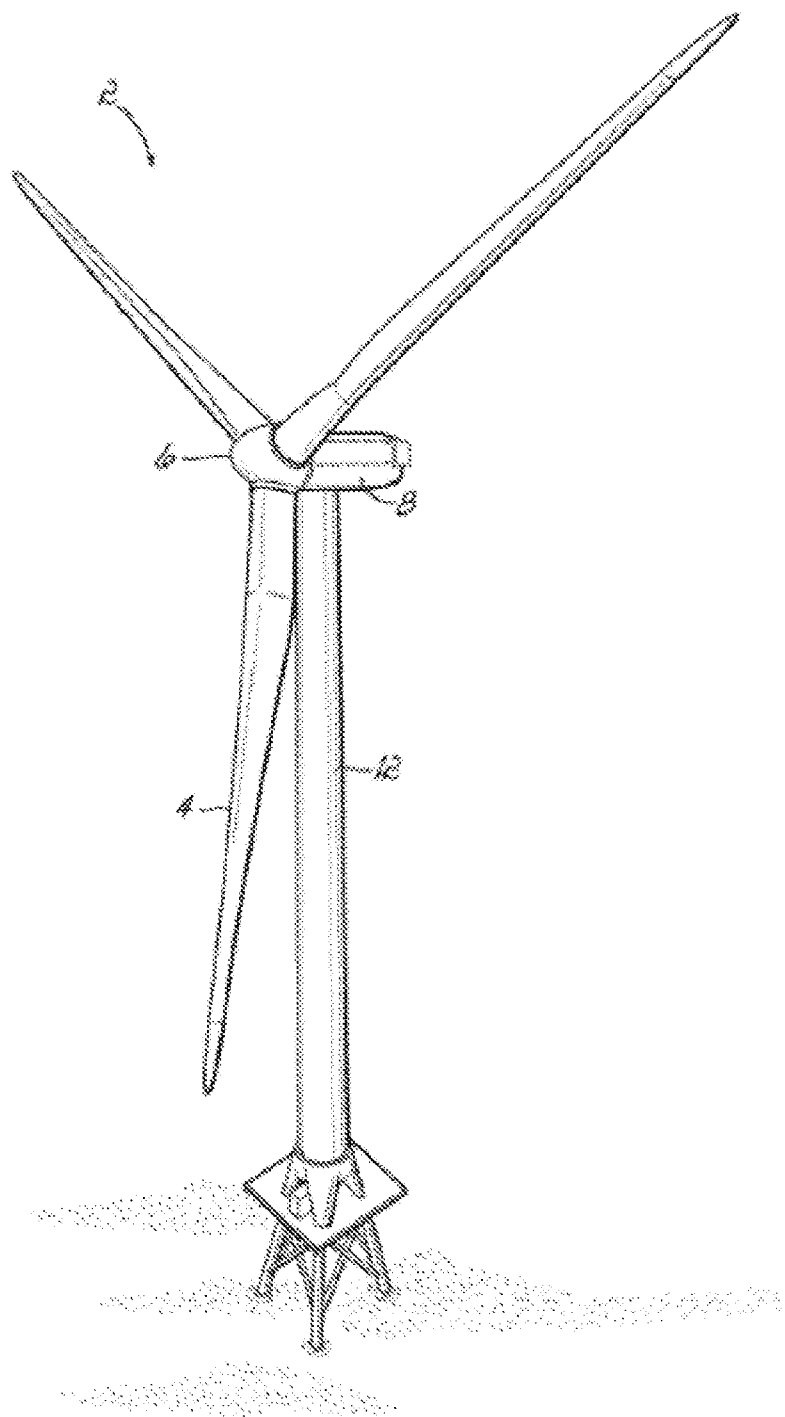


Figura 1

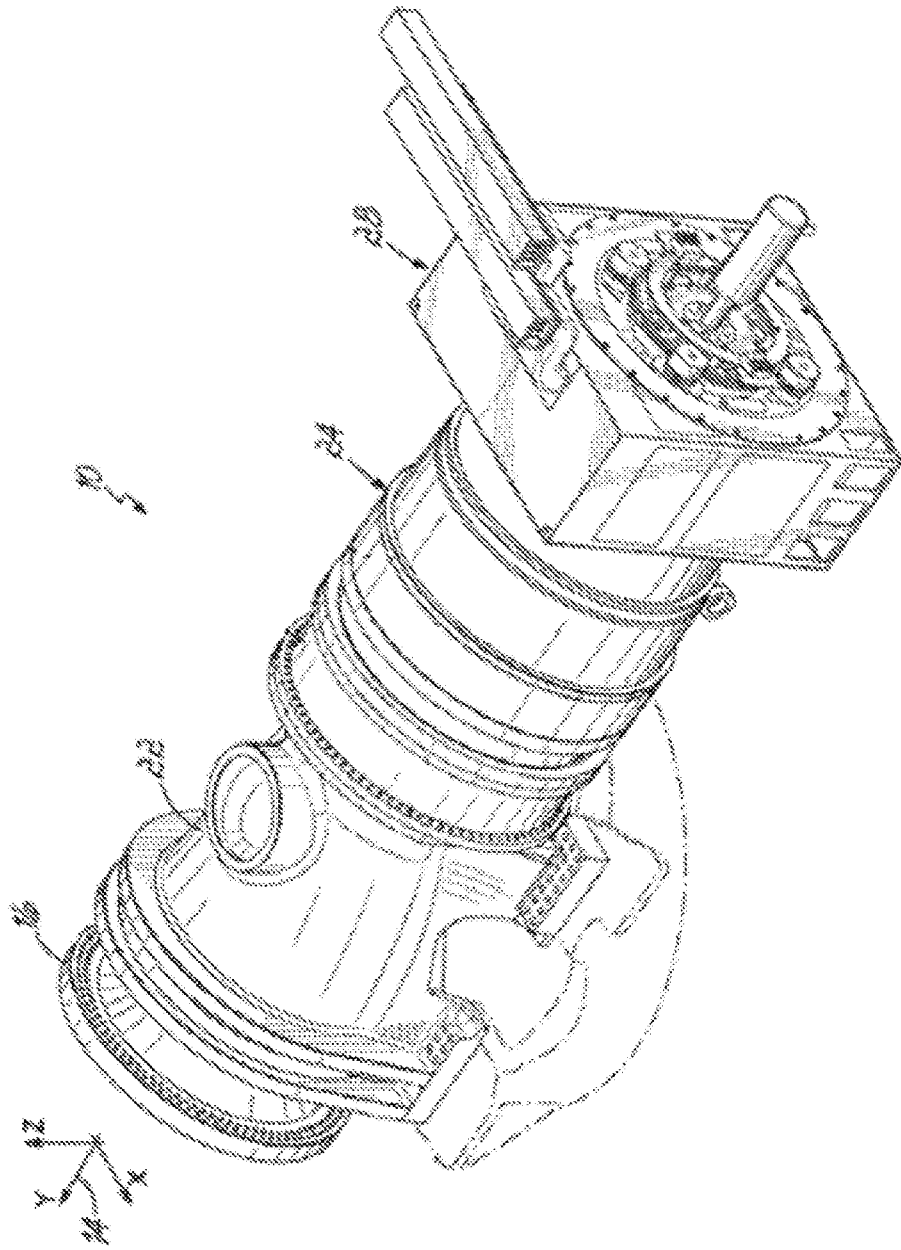


Figura 2

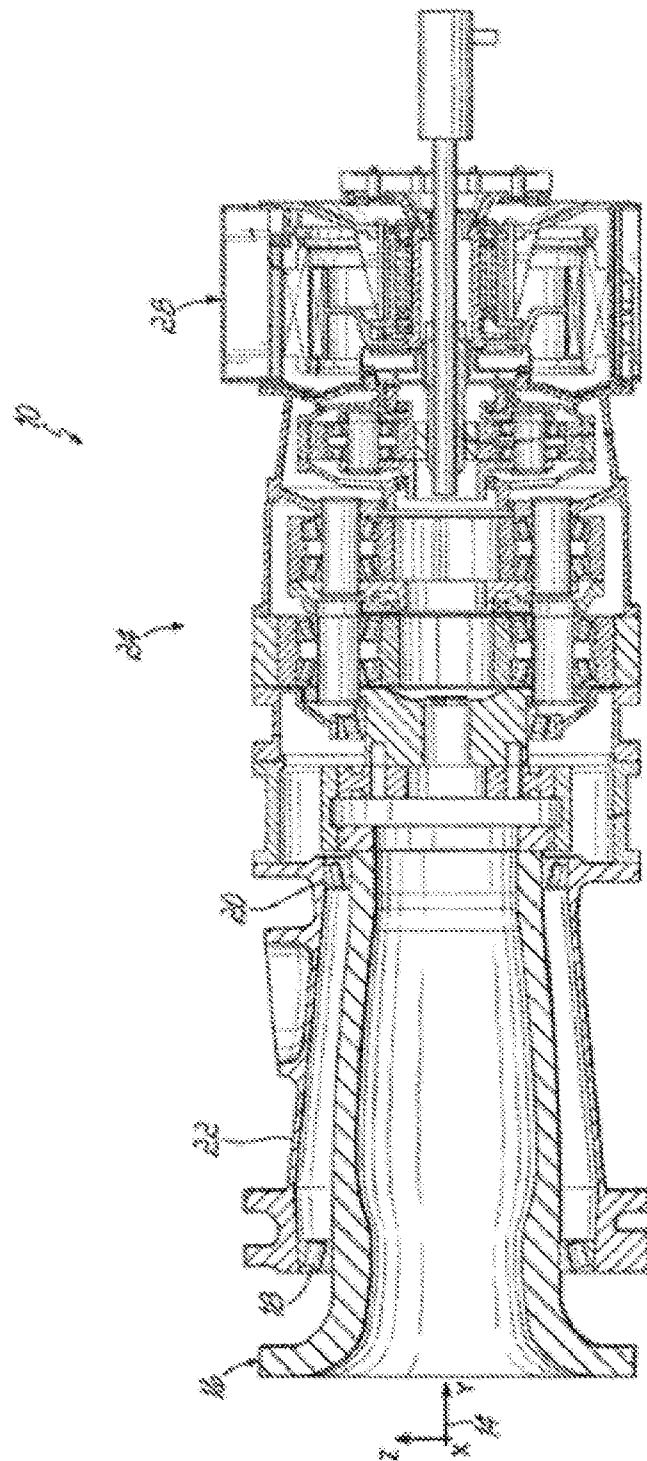


Figura 3

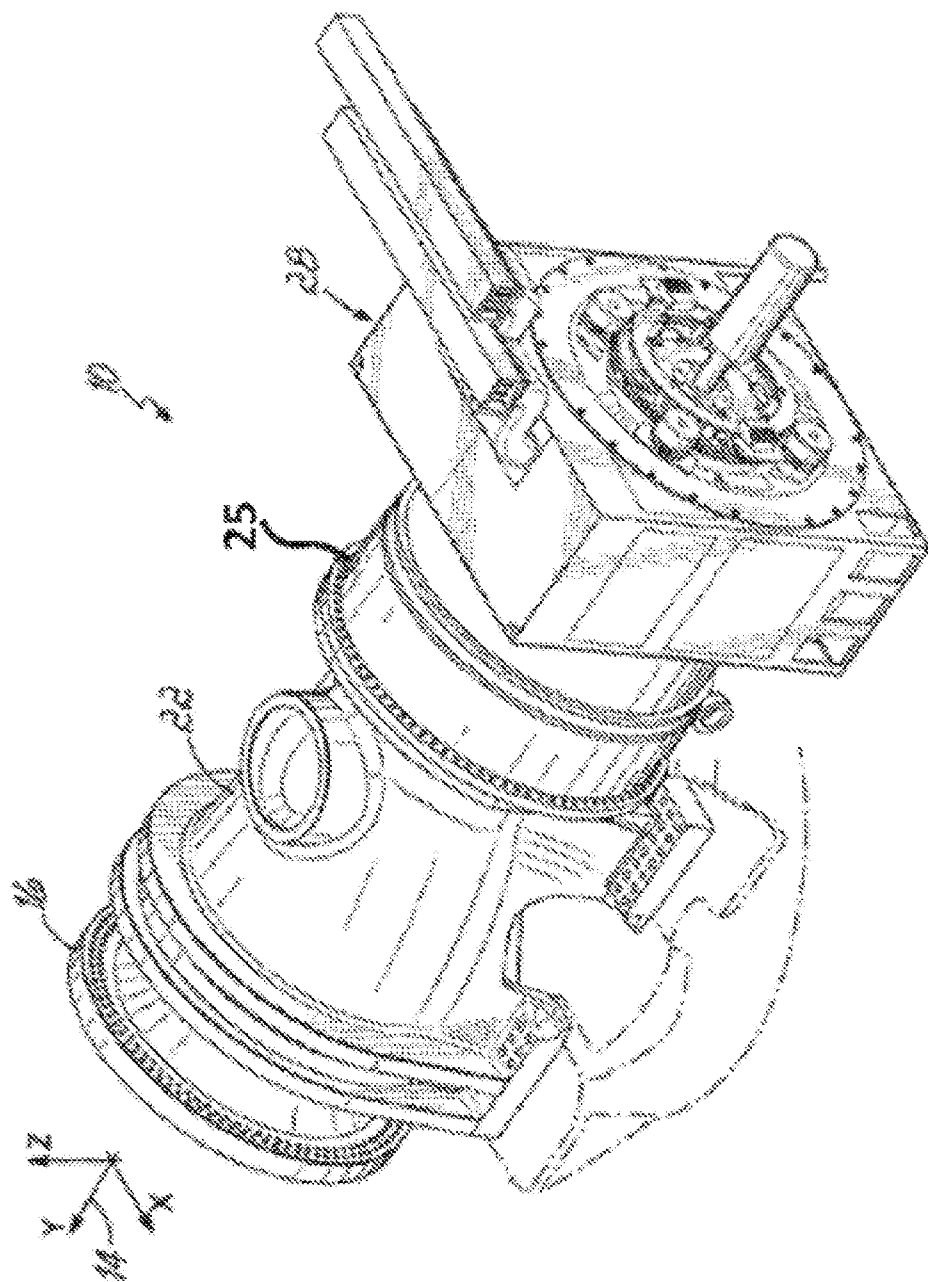


Figura 4

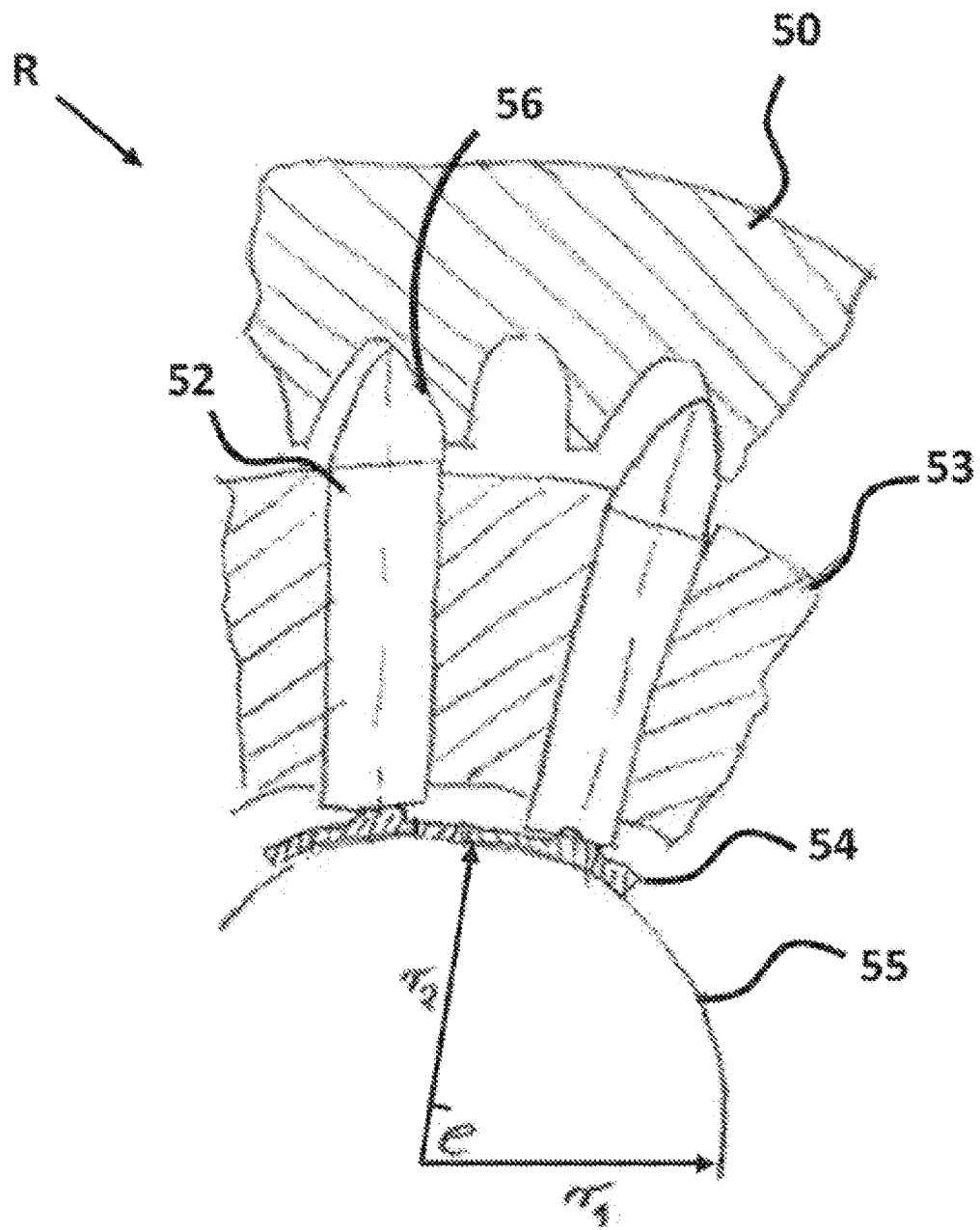


Figura 5

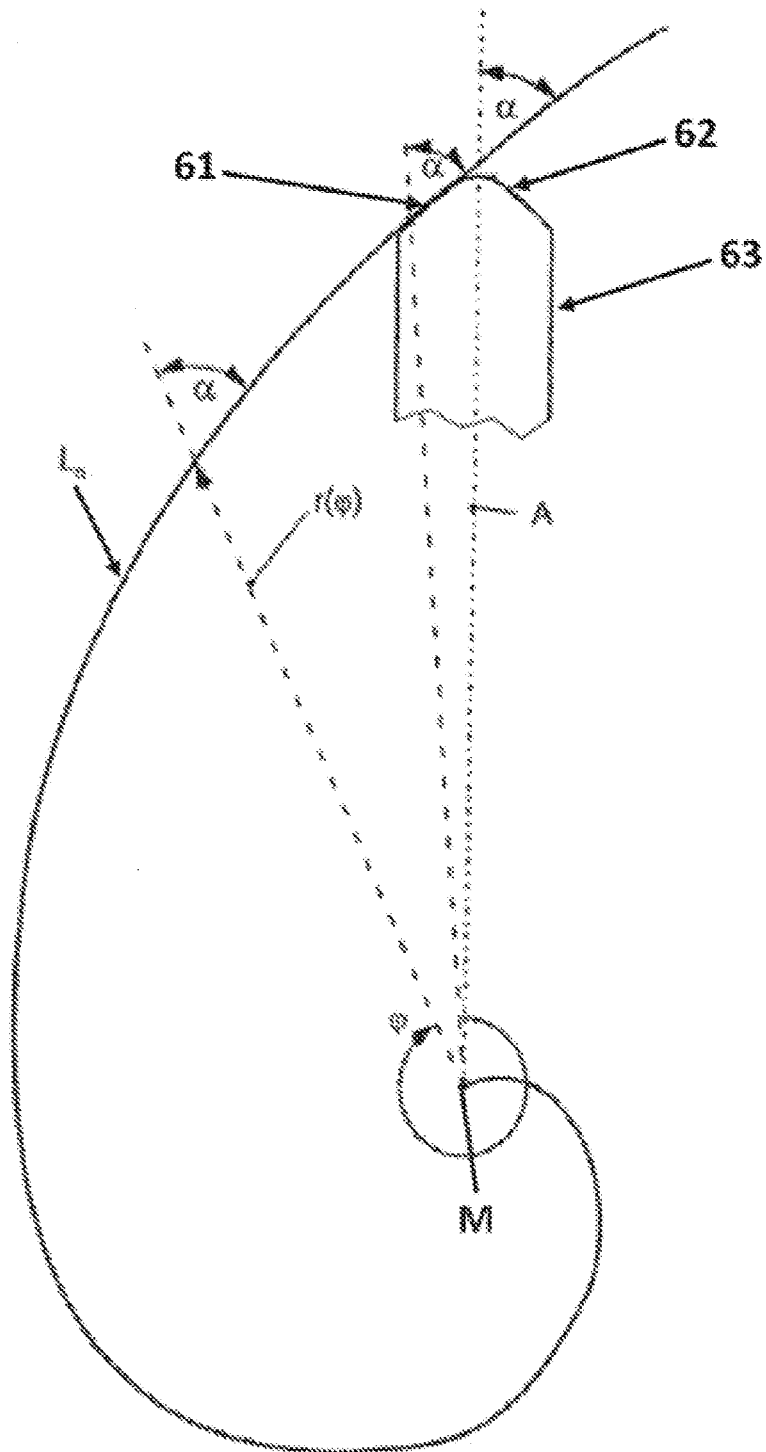


Figura 6

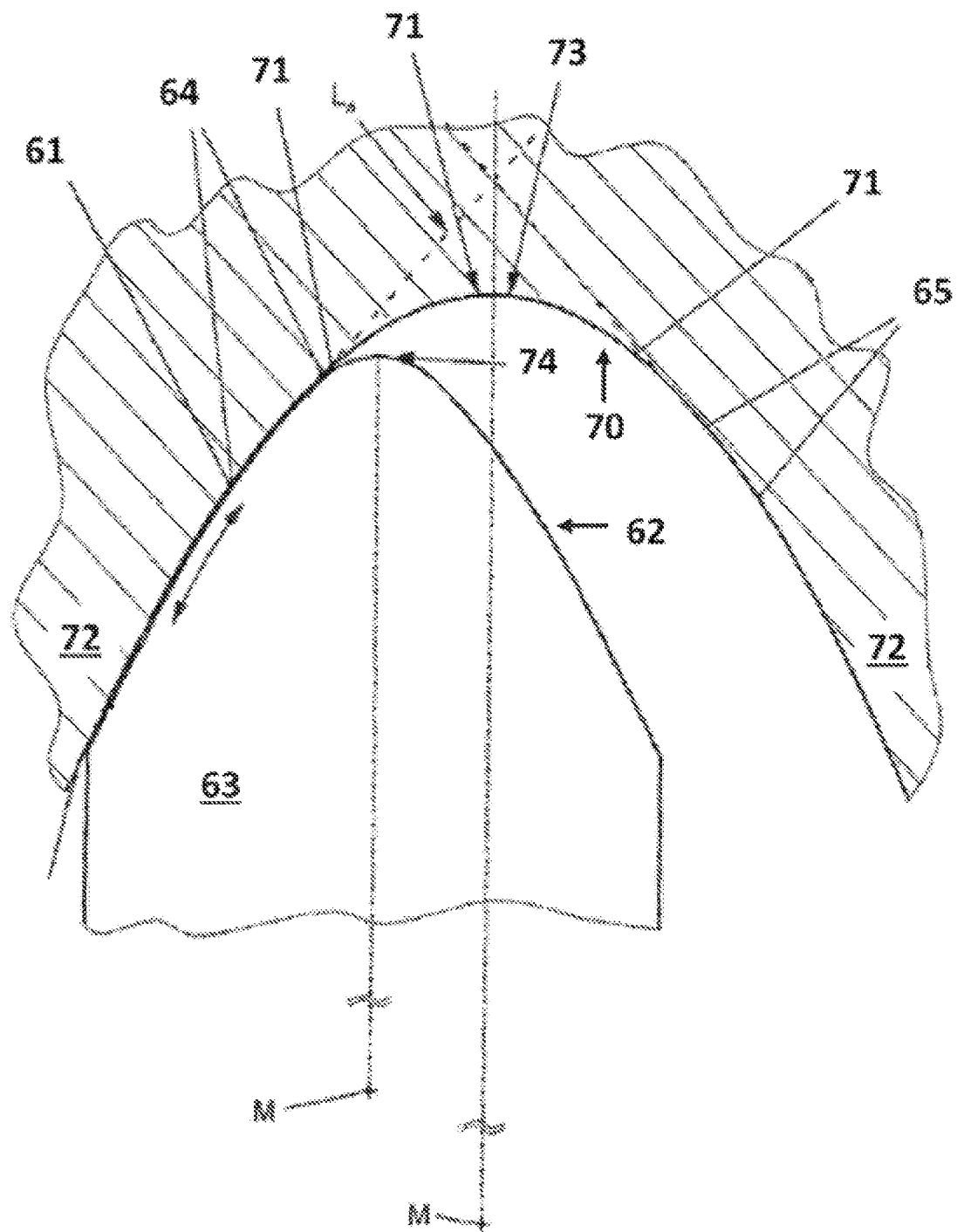


Figura 7

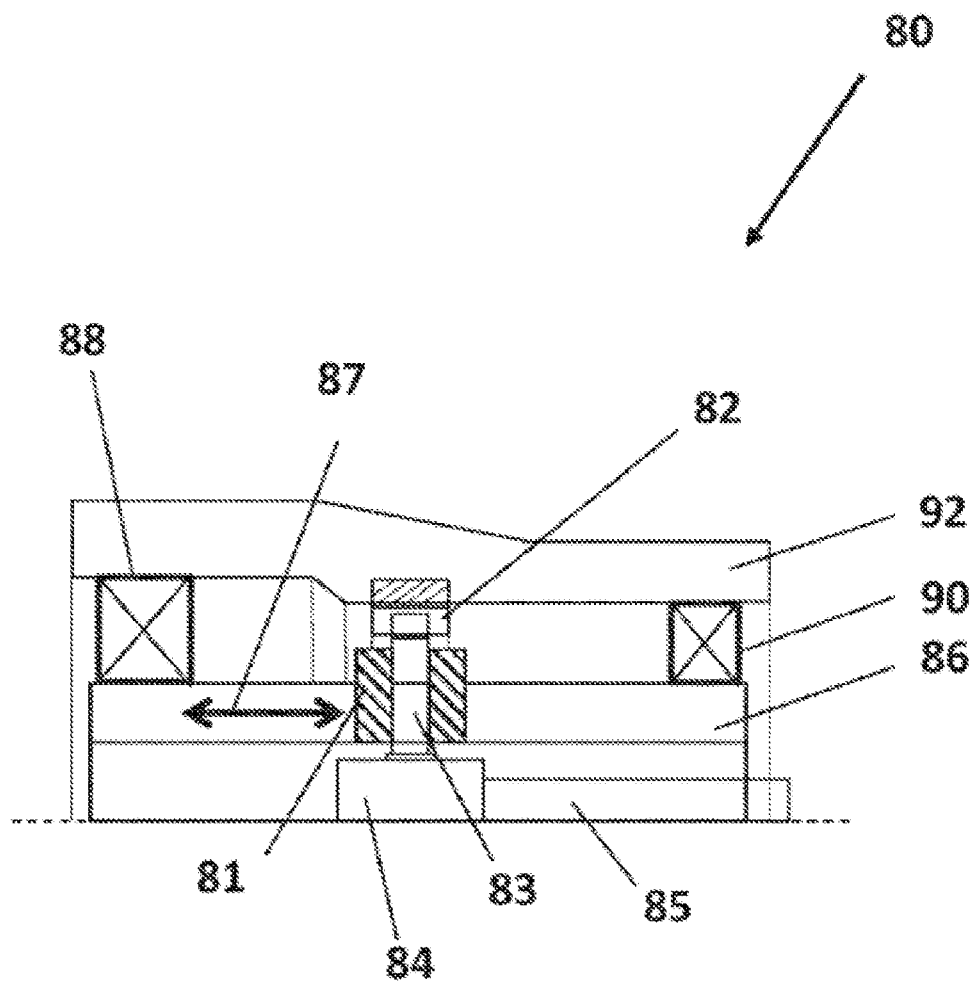


Figura 8