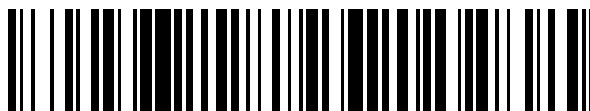


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 708 452**

51 Int. Cl.:

F03D 15/10 (2006.01)
F03D 80/70 (2006.01)
F03D 13/00 (2006.01)
F03D 13/10 (2006.01)
F03D 15/00 (2006.01)
F03D 9/25 (2006.01)
F16H 1/46 (2006.01)
H02K 7/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.10.2011 PCT/DK2011/050388**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.04.2012 WO12052022**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.10.2011 E 11776073 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **10.11.2021 EP 2630371**

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

30 Prioridad:

08.03.2011 US 201161450151 P
18.10.2010 US 393995 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente modificada:
14.03.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

DEMTRÖDER, JENS;
BUGIEL, CHRISTOPH;
LAKÄMPER, ANDREAS;
BITSCH, MICHAEL, LUNDGAARD;
RÜSCHOFF, RALF;
PIZZUTO, ANTONINO y
SKOVLUND, SØREN

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 708 452 T5

DESCRIPCIÓN

Sistema de transmisión de potencia de turbina eólica

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a sistemas de transmisión de la potencia. Más específicamente, la presente invención se refiere a sistemas de transmisión de la potencia para turbinas eólicas.

10 **Antecedentes**

Las turbinas eólicas incluyen típicamente un rotor con grandes palas impulsadas por el viento. Las palas convierten la energía cinética del viento en energía mecánica rotacional. La energía mecánica acciona normalmente uno o más generadores para producir energía eléctrica. Por tanto, las turbinas eólicas incluyen sistemas de transmisión de la potencia para procesar y convertir la energía mecánica rotacional en energía eléctrica. El sistema de transmisión de la potencia se denomina a veces como el "tren de potencia" de la turbina eólica. La parte del sistema de transmisión de la potencia desde el rotor de la turbina eólica al generador se denomina como el tren de accionamiento.

Frecuentemente es necesario incrementar la velocidad de rotación del rotor de la turbina eólica a la velocidad requerida por el (los) generador(es). Esto se lleva a cabo mediante una caja de engranajes entre el rotor de la turbina eólica y el generador. Por tanto, la caja de engranajes forma parte del sistema de transmisión de la potencia y convierte una entrada de baja velocidad y par elevado desde el rotor de la turbina eólica en una salida de velocidad más alta y par más bajo para el generador.

La transmisión del par no es la única función de un sistema de transmisión de la potencia para turbina eólica. La función secundaria es transferir otras cargas del rotor a una estructura de la góndola y torre que soporta el sistema. De hecho, el rotor de la turbina eólica experimenta una variedad de cargas debido a las condiciones variables del viento, interacciones mecánicas, aspectos de control, gravedad y otros factores. La trayectoria de estas cargas a través del sistema de transmisión de la potencia depende de la disposición particular. Aunque los componentes se diseñan con la trayectoria de carga correspondiente en mente, la imprevisibilidad, variedad y magnitud de las cargas hace esto muy exigente. Más aún, incluso componentes apropiadamente diseñados pueden no tener en cuenta con precisión las tolerancias de la máquina, las deformaciones de carga, las expansiones/variaciones térmicas y otras condiciones. Estas condiciones pueden dar como resultado fuerzas indeseables, "parásitas" que tienen el potencial de dañar elementos en el sistema de transmisión de la potencia, particularmente los componentes de la caja de engranajes y del (de los) cojinete(s) principal(es). Como resultado, la fiabilidad de la caja de engranajes y cojinetes es una de las mayores inquietudes en la industria de la generación eólica.

Algunos fabricantes acometen las inquietudes sobre la caja de engranajes mediante el diseño de sistemas de transmisión de la potencia sin una etapa de engranajes. El rotor de la turbina eólica acciona directamente un generador de baja velocidad en dichos sistemas. Aunque puede reducirse el número de componentes sometido a las cargas del rotor, estas turbinas eólicas de accionamiento directo tienen las mismas exigencias con respecto a cargas parásitas en el (los) cojinete(s) principal(es) así como en los componentes del generador. Las turbinas eólicas de accionamiento directo también presentan otras inquietudes. En particular, los generadores de baja velocidad son mayores que sus homólogos de alta y media velocidad en soluciones con engranajes para producir cantidades de potencia equivalentes. El mayor tamaño presenta exigencias de transporte, montaje y mantenimiento además de las inquietudes de coste, dado que la mayor parte de las máquinas de accionamiento directo son generadores de imán permanente que incorporan materiales de tierras raras de disponibilidad limitada. Más aún, hay también un requisito crítico de bajas tolerancias en el generador y de gestión controlada de las fuerzas parásitas.

Por tanto, los sistemas de transmisión de la potencia con una etapa de engranajes se considera aún que son de interés, y son altamente deseables soluciones que acometen las inquietudes sobre la fiabilidad.

El documento EP 1 867 871 A2 describe una turbina eólica con un rotor que está acoplado a una caja de engranajes mediante un árbol principal, en el que la estructura de soporte proporciona tres cojinetes para el árbol principal. Un lado de caja de engranajes del árbol principal está equipado con un disco de torsión que tiene un acoplamiento de dientes. El acoplamiento de dientes engrana la primera etapa de un engranaje planetario. Se conocen transmisiones de turbina eólica adicionales por los documentos EP 1855001 A1 y EP 1878917 A2.

Sumario

Se divulgan sistemas de transmisión de la potencia para incrementar la velocidad de rotación desde un rotor de una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1. Los sistemas de transmisión de la potencia comprenden un árbol principal configurado para ser accionado por el rotor, una estructura de soporte y una caja de engranajes. La estructura de soporte incluye al menos un cojinete que soporta el árbol principal para su rotación alrededor del eje principal y que restringe otros movimientos del árbol principal. Por tanto, además de la rotación alrededor del eje principal, no hay otros grados de libertad entre el árbol principal y la estructura de soporte.

La caja de engranajes incluye una carcasa de caja de engranajes rígidamente acoplada a la estructura de soporte y un miembro de entrada de la caja de engranajes acoplado al árbol principal. La carcasa de la caja de engranajes soporta el miembro de entrada para su rotación alrededor del eje principal mientras restringe otros movimientos del miembro de entrada de la caja de engranajes. El miembro de entrada de la caja de engranajes, por otra parte, se acopla al árbol principal con grados de libertad en traslación en todas las direcciones y grados de libertad en rotación alrededor de ejes perpendiculares al eje principal. Esta flexibilidad entre el árbol principal y el miembro de entrada de la caja de engranajes juega un papel importante en la cinemática global del sistema de transmisión de la potencia. Ventajosamente, mediante la combinación de esta flexibilidad con la relación cinemática que caracteriza las interacciones entre los otros componentes, el sistema de transmisión de la potencia asegura la transferencia del par de una forma fiable. Otras fuerzas internas se distribuyen de modo que el sistema de transmisión de la potencia tiene baja sensibilidad a los errores de alineación, las tolerancias, las deformaciones de carga, las expansiones térmicas y otras condiciones que pueden conducir a cargas parásitas.

La flexibilidad entre el árbol principal y el miembro de entrada de la caja de engranajes se proporciona mediante un acoplamiento flexible definido por una parte terminal asociada con el árbol principal, una parte terminal asociada con el miembro de entrada y un elemento de acoplamiento. El elemento de acoplamiento se acopla a cada una de las partes terminales de modo que define dos juntas. Cada junta permite la rotación relativa entre el elemento de acoplamiento y la parte terminal respectiva alrededor de ejes perpendiculares al eje principal y traslación relativa a lo largo del eje principal. Como resultado de dicha doble junta, el acoplamiento flexible se adapta a desalineaciones radiales, axiales y angulares entre el árbol principal y el miembro de entrada de la caja de engranajes.

Pueden proporcionarse ventajas adicionales por la distribución interna de fuerzas cuando la carcasa de la caja de engranajes se suspende desde la estructura de soporte, que se asienta sobre la parte superior de la torre cuando se instala en una turbina eólica. La estructura de soporte en dicha realización puede comprender una carcasa de cojinetes que rodea el (los) cojinete(s) que soportan el árbol principal. La carcasa de la caja de engranajes puede suspenderse entonces directa o indirectamente desde la carcasa de cojinetes. Por tanto, no hay trayectoria de carga a través de la carcasa de la caja de engranajes a la torre. Esta ventaja se mantiene cuando la transmisión de la potencia incluye además un generador integrado con la caja de engranajes. En particular, el generador incluye un rotor y un estator posicionados dentro de una carcasa de generador, que se acopla rígidamente a, y se suspende desde la carcasa de, la caja de engranajes.

Estas y otras ventajas se harán más evidentes basándose en la descripción que sigue.

Breve descripción de los dibujos

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 la potencia para la turbina eólica de la figura 1.

La figura 3 es una vista en sección transversal del sistema de transmisión de la potencia de la figura 2.

La figura 4 es una vista en sección transversal de una parte del sistema de transmisión de la potencia con detalle adicional.

La figura 4A es una vista en sección transversal de una realización de un elemento de pretensado para un cojinete en el sistema de transmisión de la potencia.

La figura 5 es una vista en sección transversal que muestra el acoplamiento en el sistema de transmisión de la potencia, que no se reivindica, de la figura 3 con detalle adicional.

La figura 6 es una vista en perspectiva despiezada del acoplamiento mostrado en la figura 5.

Las figuras 7A-7D son vistas esquemáticas del acoplamiento mostrado en la figura 5.

La figura 8 es una vista en perspectiva de un elemento de acoplamiento para un acoplamiento en el sistema de transmisión de la potencia de acuerdo con un ejemplo alternativo, que no se reivindica.

La figura 8A es una vista esquemática del acoplamiento para el ejemplo de la figura 8.

La figura 9 es una vista en perspectiva del sistema de transmisión de la potencia con un acoplamiento de acuerdo con una realización.

La figura 10 es una vista en perspectiva despiezada del sistema de transmisión de la potencia de la figura 9.

La figura 11 es una vista en perspectiva despiezada del acoplamiento en el sistema de transmisión de la potencia de la figura 9.

La figura 11A es una vista en perspectiva de un acoplamiento de acuerdo con otra realización, pero basado en principios similares a los del acoplamiento de la figura 11.

La figura 14 es una vista en alzado superior de una parte del sistema de transmisión de la potencia de la figura 2.

La figura 15 es una vista en alzado lateral de una parte del sistema de transmisión de la potencia de la figura 2.

La figura 16 es una vista en sección transversal de una parte de un sistema de transmisión de la potencia de acuerdo con una realización alternativa.

Descripción detallada

La figura 1 muestra un ejemplo de una turbina eólica 2. Aunque se muestra una turbina eólica marina, debería sealarse que la descripción que sigue puede ser aplicable a otros tipos de turbinas eólicas. La turbina eólica 2

incluye palas del rotor 4 montadas en un buje 6, que es soportado por una góndola 8 sobre una torre 12. El viento hace que las palas del rotor 4 y el buje 6 giren alrededor de un eje principal 14 (figura 2). Esta energía rotacional se proporciona a un sistema de transmisión de la potencia (o "tren de potencia") 10 alojado dentro de la góndola 8.

- 5 Como se muestra en las figuras 2 y 3, el sistema de transmisión de la potencia 10 incluye un árbol principal 16 acoplado al buje 6 (figura 1). El sistema de transmisión de la potencia 10 incluye también primeros y segundos cojinetes 18, 20 que soportan el árbol principal 16, una carcasa de cojinetes 22 rodeando el primer y segundo cojinetes 18, 20, y una caja de engranajes 24 que tiene un miembro de entrada de la caja de engranajes 26 accionado por el árbol principal 16. La caja de engranajes 24 incrementa la velocidad de rotación del árbol principal 16 para accionar un generador 28, tal y como se describe con mayor detalle más adelante.

La cinemática del sistema de transmisión de la potencia 10 también se describirá con mayor detalle más adelante. Para este fin, será conveniente hacer referencia a un sistema de coordenadas tridimensional basado en el eje principal 14. En este sistema de coordenadas, el eje y se considera que es el eje principal del sistema. El eje x y el eje z son perpendiculares al eje y, estando el eje z en general alineado con la dirección de la gravitación. Las relaciones entre los cuerpos cinemáticos se describirán en términos de grados de libertad. Un "cuerpo" es un elemento simple o grupo de elementos conectados sustancialmente de modo rígido de modo que las distancias entre puntos en el cuerpo sean efectivamente fijas en condiciones normales. Dicho de otra manera, todos los elementos de un cuerpo se mueven de modo efectivo juntos con respecto al mismo sistema de referencia en condiciones normales; no se pretende movimiento relativo. Un "grado de libertad" se refiere a la capacidad de un cuerpo para moverse en direcciones de traslación o rotación con relación a otro cuerpo al que está unido. La junta se diseña específicamente con movimiento relativo en mente cuando hay uno o varios grado(s) de libertad. Las direcciones de traslación y rotación se definen con referencia al sistema de coordenadas.

- 25 Pasando ahora a la figura 4, se muestra en sección transversal una parte del sistema de transmisión de la potencia 10. Tal como puede observarse, el árbol principal 16 es hueco e incluye una parte de brida 32 en el extremo de conexión al buje 6 (figura 1). La parte de brida 32 permite que el árbol principal 16 se acople al buje con tornillos. En otras realizaciones, el árbol principal 16 puede acoplarse al buje mediante una conexión Hirth, una conexión combinada pasador-tornillo, o alguna otra disposición que asegure la transferencia del par. Además, aunque se muestra la parte de brida 32 como formada de modo integral con el resto del árbol principal 16, puede ser alternativamente un componente separado atornillado o sujeto en otra forma al árbol principal 16.

El primer y segundo cojinete 18, 20 soportan el árbol principal 16 para su rotación alrededor del eje y 14 pero impiden otros movimientos relativos entre la carcasa de cojinetes 22 y el árbol principal 16. Se muestra una disposición de cojinetes de rodillos cónicos ampliamente separados. En particular, el primer y segundo cojinete 18, 20 son cojinetes de rodillos cónicos de una fila separados dentro de la carcasa de cojinetes 22 y dispuestos en una configuración en O; las fuerzas normales a los elementos de rodadura son convergentes fuera del espacio entre los cojinetes (creando de ese modo una dispersión efectiva mayor que la distancia entre los cojinetes). Son posibles también otras disposiciones de cojinetes. Por ejemplo, el árbol principal 16 puede estar alternativamente soportado por alguna combinación de cojinetes de rodillos cilíndricos, cojinetes de bolas esféricas, o cojinetes de rodillos cónicos, cada uno con o bien una única fila o bien múltiples filas de elementos de rodadura.

La carcasa del cojinete principal 22 incluye además apoyos 34, 36 para ayudar a posicionar el primer y segundo cojinete 18, 20 en la dirección axial. Se extiende un primer elemento de pretensado 38 entre la parte de brida 32 del árbol principal 16 y el primer cojinete 18. El primer elemento de pretensado 38 puede dimensionarse como un manguito de modo que el primer cojinete 18 sea empujado contra el apoyo 34 en la carcasa del cojinete principal 22. De manera similar, puede extenderse un segundo elemento de pretensado 40 entre el segundo cojinete 20 y una brida de acoplamiento 42 en el otro extremo del árbol principal 16. El segundo elemento de pretensado 40 puede dimensionarse de la misma forma como un manguito de modo que el segundo cojinete 20 sea empujado contra el apoyo 36.

En algunas realizaciones, el primer y/o segundo elemento de pretensado 38, 40 pueden ser ajustables. Por ejemplo, la figura 4A ilustra una realización de un segundo elemento de pretensado 40 definido por tornillos 46 y resortes 48. Los tornillos 46 se extienden a través de orificios roscados 50 en la brida de acoplamiento 42 e incluyen cubiertas o cabezas 52 sobre el extremo que mira al segundo cojinete 20. Una parte similar a una brida 54 de la cubierta 52 se extiende en una dirección radial, definiendo de ese modo una superficie que mira hacia el segundo cojinete 20. Los resortes 48 encajan sobre la otra parte de la cubierta 52 y se extienden entre estas superficies y el segundo cojinete 20. Las fuerzas ejercidas por los resortes 48 precargan el segundo cojinete 20 en la dirección axial.

La precarga en la realización de la figura 4A puede ajustarse cambiando la posición de los tornillos 46. Con este fin, los tornillos 46 pueden incluir una parte de cabeza o terminal 56 sobre el otro lado de la brida de acoplamiento 42 lo que permite que se giren los tornillos. Por ejemplo, los tornillos 46 pueden ser espárragos roscados con un extremo hexagonal en este lado de la brida de acoplamiento 42. La rotación de los tornillos 46 cambia su posición axial y la cantidad en la que se comprimen los resortes 48.

El primer elemento de pretensado 38 puede construirse de modo similar al segundo elemento de pretensado 40

mostrado en la figura 4A, si se desea. Las variantes de las realizaciones descritas anteriormente se apreciarán por expertos en el diseño de cojinetes de turbina eólica. Por ejemplo, los resortes individuales 48 en la figura 4A pueden sustituirse por manguitos individuales, flexibles. Como alternativa, en lugar de haber un resorte 48 por tornillo 46, puede haber un manguito tubular que se extiende alrededor del árbol principal 16 y se recibe sobre todas las cubiertas 52 (haciendo tope los diámetros interior y exterior del manguito en cada una de las partes similares a la brida 54). El número de diferentes realizaciones que se apreciará es por lo que el primer y segundo elemento de pretensado 38, 40 se muestran esquemáticamente en la figura 4 (nota: no se muestran en las figuras 2 y 3 por simplicidad).

Independientemente de la construcción particular, el primer y segundo elemento de pretensado 38, 40 cooperan con la parte de brida 32 y la brida de acoplamiento 42 para sujetar el primer y segundo cojinete 18, 20 en su posición contra los apoyos 34, 36. Dicha disposición elimina la necesidad de muescas sobre el árbol principal 16, lo que simplifica el proceso de fabricación del árbol principal 16 y no compromete su resistencia. Más aún, la precarga asegura que tanto el primer como el segundo cojinete 18, 20 experimentan al menos alguna carga mínima en todas las condiciones de operación. Esto reduce o elimina movimientos axiales indeseados, maximiza la rigidez en el sistema global, y optimiza el uso de cojinetes porque las zonas de apoyo de los elementos de rodadura se incrementan en función de la precarga.

Volviendo a referirnos a la figura 3, la caja de engranajes 24 se suspende desde la carcasa de cojinetes 22 y árbol principal 16; no hay soporte para la caja de engranajes 24 en sí. Más específicamente, la caja de engranajes 24 incluye el miembro de entrada de la caja de engranajes 26, que se acopla al árbol principal 16 y una carcasa de caja de engranajes 60, que se suspende desde la carcasa de cojinetes 22. Esta suspensión no necesita ser directa. De hecho, en la realización mostrada, una carcasa de acoplamiento 62 conecta la carcasa de la caja de engranajes 60 a la carcasa del cojinete principal 22 y rodea la interfaz entre el árbol principal 16 y el miembro de entrada de la caja de engranajes 26. En consecuencia, la carcasa de la caja de engranajes 60 se suspende desde la carcasa de cojinetes 22 a través de la carcasa del acoplamiento 62. Dicho de otra manera, la carcasa de la caja de engranajes 60 solo se soporta en un extremo y, por lo tanto, está en voladizo desde la carcasa de cojinetes 22 a través de la carcasa del acoplamiento 62.

Esta disposición particular tiene ventajas que serán más evidentes basándose en la descripción que sigue. Los expertos en el diseño de turbinas eólicas, sin embargo, apreciarán otras disposiciones que tienen la misma relación cinemática. Por ejemplo, los elementos rígidamente conectados que soportan el árbol principal 16 (por ejemplo, el primer y segundo cojinete 18, 20 y la carcasa de cojinetes 22) pueden denominarse más en general como una "estructura de soporte" y considerarse parte del mismo cuerpo cinemático. La carcasa de la caja de engranajes 60 es parte también de este cuerpo cinemático debido a que está rígidamente acoplada a la carcasa de cojinetes 22. Con esto en mente, serán evidentes otras realizaciones en las que una caja de engranajes se acopla rígidamente a la misma estructura de soporte de un árbol principal, tal como un bastidor base. No es preciso tener necesariamente una suspensión a menos que se deseen las ventajas asociadas con la disposición de suspensión (descritas a continuación). En un nivel más general, el cuerpo cinemático asociado tiene dos juntas: una primera con el árbol principal 16, y una segunda con el miembro de entrada de la caja de engranajes 26. La primera junta (el soporte del árbol principal 16) ya se ha descrito. En términos de la segunda junta, la carcasa de la caja de engranajes 60 (y, por lo tanto, su cuerpo cinemático asociado) soporta el miembro de entrada de la caja de engranajes 26 para su rotación alrededor del eje principal 14 e inhibe otros movimientos relativos.

El tipo de miembro de entrada de la caja de engranajes 26 depende del diseño de la caja de engranajes particular. Se muestra un portasatélites para una caja de engranajes diferencial, aunque no se ilustran los detalles de la caja de engranajes diferencial debido a que pueden usarse en su lugar otros diseños adecuados para turbinas eólicas. Esto incluye, por ejemplo, cajas de engranajes planetarios convencionales, cajas de engranajes planetarios compuestos, cajas de engranajes planetarios de portador fijo, etc., implicando etapas simples o múltiples. Independientemente del diseño de la caja de engranajes, el miembro de entrada de la caja de engranajes 26 se acopla flexiblemente al árbol principal 16. Hay diferentes formas en las que puede conseguirse esto, y se describirán a continuación diversos ejemplos. Cada uno implica una conexión o acoplamiento flexible 64 de modo que el árbol principal 16 y el miembro de entrada de la caja de engranajes 26 no se conecten rígidamente; hay diferentes cuerpos cinemáticos unidos en el acoplamiento 64. Ventajosamente, el acoplamiento 64 proporciona grados de libertad en traslación en todas las direcciones y grados de libertad en rotación alrededor solamente del eje x y del eje z. No hay grados de libertad en rotación alrededor del eje y (eje principal) debido a que el acoplamiento 64 es torsionalmente rígido.

Las figuras 5 y 6 muestran un ejemplo del acoplamiento 64 con detalle adicional. En este ejemplo, el acoplamiento 64 es un acoplamiento de dientes estriados curvados definido por la brida de acoplamiento 42 del árbol principal 16, una brida de acoplamiento 68 del miembro de entrada de la caja de engranajes 26, y un elemento de acoplamiento 70 que engrana circunferencialmente con las bridas de acoplamiento 42, 68. Las bridas de acoplamiento 42, 68 se muestran como componentes separados atornillados al árbol principal 16 y al miembro de entrada de la caja de engranajes 26, respectivamente. Como resultado, las bridas de acoplamiento 42, 68 rotan con estos componentes. Se extienden pasadores (no mostrados) entre cada brida de acoplamiento 42, 68 y el componente al que se atornillan en varias localizaciones para ayudar a transferir el par. La conexión puede soportarse adicional o alternativamente mediante la colocación de una placa de fricción (no mostrada) entre cada brida de acoplamiento 42,

68 y el componente al que se sujeta. La placa de fricción puede ser, por ejemplo, un disco metálico recubierto con un material de mejora de la fricción. El par es función de las fuerzas que provocan la rotación alrededor del eje principal 14 y de la distancia desde el eje principal 14. Por lo tanto, el incremento de la capacidad de transferir par por medio de pasadores y/o placas de fricción permite que se transfieran fuerzas mayores a través de las conexiones sin tener que incrementar el diámetro del árbol principal 16 o del miembro de entrada de la caja de engranajes 26. En ejemplos alternativos, las bridas de acoplamiento 42, 68 pueden formarse de modo integral con el árbol principal 16 y miembro de entrada de la caja de engranajes 26, respectivamente.

Como se muestra en la figura 6, las bridas de acoplamiento 42, 68 terminan en dientes que se proyectan radialmente hacia el exterior 74, 76. El elemento de acoplamiento 70 incluye dientes que se proyectan radialmente hacia el interior 78 para engranar con los dientes 74, 76. Por lo tanto, se definen dos encajes de engranajes. Hay números iguales de dientes sobre las bridas de acoplamiento 42, 68 y el elemento de acoplamiento 70 de modo que hay una relación de engranajes 1:1. Un conjunto de dientes en cada encaje de engranajes tiene sustancialmente perfiles rectos, mientras que el otro conjunto tiene perfiles en corona en una dirección axial. Esto se ilustra esquemáticamente en la figura 7A.

En el ejemplo mostrado en las Figuras 5 y 6, los dientes 74, 76 sobre las bridas de acoplamiento 42, 68 son aquellos con un perfil en corona. El diente 78 sobre el elemento de acoplamiento 70 tiene perfiles rectos y se extiende a lo largo de su longitud para encajar con los dientes 74, 76. Como resultado de esta disposición, el acoplamiento 64 funciona en una doble junta que puede adaptarse a diferentes tipos de desalineaciones. Más específicamente, el acoplamiento 64 puede dividirse en tres cuerpos cinemáticos: el árbol principal 16 (que incluye la brida de acoplamiento 42), el elemento de acoplamiento 70 y el miembro de entrada de la caja de engranajes 26 (que incluye la brida de acoplamiento 68). Se define una junta entre cada brida de acoplamiento 42, 68 y el elemento de acoplamiento 70. En este ejemplo particular, las juntas son encajes de engranajes (se describirán otros ejemplos). Cada junta permite la rotación relativa alrededor del eje x y del eje z debido a los dientes en corona 74, 76. La traslación relativa en una dirección axial (es decir, a lo largo del eje principal 14) también se permite debido a que los dientes rectos 78 no restringen los dientes en corona 74, 46 en esta dirección. Las juntas no se diseñan para otros movimientos relativos.

Esta relación cinemática es lo que proporciona al acoplamiento 64 grados de libertad en traslación en todas las direcciones y grados de libertad en rotación alrededor del eje x y del eje z. Esto puede apreciarse a partir de los dibujos esquemáticos de las figuras 7A-7D, si el árbol principal 16 (representado por la brida de acoplamiento 42) queda desalineado con el miembro de entrada de la caja de engranajes 26 (representado por la brida de acoplamiento 68) en una dirección radial (desplazamiento a lo largo del eje x o z; figura 7B), en la dirección angular (figura 7C), y/o en la dirección axial (desplazamiento a lo largo del eje y; figura 7D), las traslaciones y rotaciones relativas descritas anteriormente se adaptan a estas desalineaciones. Cuando se combina esta relación cinemática con las otras relaciones en el sistema de transmisión de la potencia 10 (el número de cuerpos cinemáticos, el número de juntas y grados de libertad), el sistema tiene una baja sensibilidad a los errores de desalineación, las tolerancias, las deformaciones de carga, las expansiones térmicas y otras condiciones que pudieran conducir en caso contrario a desalineaciones y fuerzas "parásitas" indeseadas, que dañen componentes sensibles. Por lo tanto, el sistema de transmisión de la potencia 10 es capaz de llevar a cabo su función primaria —la transferencia del par— de una manera fiable.

Las bridas de acoplamiento 42, 68 representan partes terminales del árbol principal 16 y del miembro de entrada de la caja de engranajes 26. En ejemplos alternativos no mostrados, las partes terminales pueden ser simplemente extensiones del árbol principal 16 y del miembro de entrada de la caja de engranajes 26 provistos con dientes que se proyectan radialmente. Más aún, los dientes que se proyectan radialmente sobre las partes terminales no necesitan estar en la misma dirección. Por ejemplo, la figura 8 muestra un elemento de acoplamiento 80 que puede usarse en dichos ejemplos alternativos. En lugar de ser un anillo estriado (como el elemento de acoplamiento 70) rodeando partes terminales del árbol principal 16 y el miembro de entrada de la caja de engranajes 26, el elemento de acoplamiento 80 incluye un primer conjunto de dientes 82 que se proyectan radialmente hacia el interior y un segundo conjunto de dientes 84 que se proyectan radialmente hacia el exterior. Una de las partes terminales (por ejemplo, una extensión o brida de acoplamiento del árbol principal 16 o del miembro de entrada de la caja de engranajes 26) se acopla con el primer conjunto de dientes 82, mientras que el otro se engrana con el segundo conjunto de dientes 84. Un conjunto de dientes en cada encaje de engranajes tiene sustancialmente perfiles rectos y el otro conjunto tiene perfiles en corona en una dirección axial. Por tanto, aunque el primer y segundo conjunto de dientes 82, 84 tiene perfiles rectos en la figura 8, pueden ser alternativamente los que tienen perfiles en corona.

Se mantienen las mismas relaciones cinemáticas en la figura 8 que en el ejemplo de las figuras 3-7. Es decir, el elemento de acoplamiento 80 representa un cuerpo cinemático que tiene dos juntas con otros dos cuerpos (el árbol principal 16 y el miembro de entrada de la caja de engranajes 26). Esto puede apreciarse a partir de la vista esquemática de la figura 8A. Cada junta permite la rotación relativa alrededor del eje x y del eje z y la traslación relativa a lo largo del eje y. De nuevo, esto es resultado de un conjunto de dientes en cada encaje de engranajes que tienen perfiles en corona y mientras los otros tienen perfiles rectos; los mismos principios que en el ejemplo de las figuras 3-7. El resultado global es aún una disposición de acoplamiento que proporciona grados de libertad en traslación en todas las direcciones y grados de libertad en rotación alrededor del eje x y del eje z. El acoplamiento no

se diseña para otros movimientos relativos. En consecuencia, aún son aplicables las ventajas anteriormente mencionadas.

5 Las ventajas mencionadas anteriormente también se aplican en realizaciones que no implican encajes de engranajes de dientes curvados. De hecho, hay un cierto número de formas de proporcionar al acoplamiento 64 con las mismas relaciones cinemáticas entre el árbol principal 16, un elemento de acoplamiento y el miembro de entrada de la caja de engranajes 26.

10 Las figuras 9-11 ilustran una realización en la que el acoplamiento 64 incorpora elementos de junta fabricados de un material flexible, tal como una goma. Más específicamente, el acoplamiento 64 incluye un elemento de acoplamiento 92 posicionado entre la brida de acoplamiento 42 y la brida de acoplamiento 68. Una pluralidad de pasadores 94 se proyectan desde lados opuestos del elemento de acoplamiento 92 en la dirección axial. Los pasadores 94 se encajan por presión en orificios o se sujetan en otra forma al elemento de acoplamiento 92, o pueden formarse de modo integral con el elemento de acoplamiento 92. En esta realización, los elementos de junta incorporados en el
15 acoplamiento 64 son casquillos de goma 90 recibidos sobre los pasadores 94. Los casquillos 90 pueden encajar por presión sobre los pasadores 94, que se insertan a continuación en orificios 96 provistos en las bridas de acoplamiento 42, 68. Puede proporcionarse una conexión de encaje holgado entre los orificios 96 y los casquillos 90 cuando los pasadores 94 se posicionan en esta forma.

20 Ventajosamente, los casquillos 90 permiten algún movimiento angular y axial entre los pasadores 94 y los orificios 96. De ese modo, se mantienen las mismas relaciones cinemáticas explicadas anteriormente. El elemento de acoplamiento 92 a través de los pasadores 94 en un lado tiene una junta con la brida de acoplamiento 42 (y, por lo tanto, el árbol principal 16), y a través de los pasadores 94 en el otro lado tiene una junta con la brida de acoplamiento 68 (y, por lo tanto, el miembro de entrada de la caja de engranajes 26). Cada una de estas dos juntas
25 permite la rotación relativa alrededor del eje x y del eje z y la traslación relativa a lo largo del eje y. Otros movimientos relativos están restringidos. De nuevo, el resultado global es aún un acoplamiento 64 entre el árbol principal 16 y un miembro de entrada de la caja de engranajes 26 que proporciona grados de libertad en traslación en todas las direcciones y grados de libertad en rotación solamente alrededor del eje x y del eje z. La localización y tamaño de los pasadores 94, junto con el tamaño y material de los casquillos 90, puede optimizarse de acuerdo con los parámetros deseados (por ejemplo, nivel aceptable de fuerzas parásitas, tamaño y masa del acoplamiento 64, vida útil de los casquillos 90, etc.).
30

Se apreciarán basándose en la descripción anterior otras realizaciones que incorporan elementos de junta
35 contruidos a partir de material flexible. No necesitan implicar pasadores y casquillos de goma. De hecho, la figura 11A es una vista esquemática de una realización alternativa en la que un elemento de acoplamiento 100 incluye proyecciones similares a un bloque 102 y las bridas de acoplamiento 42, 68 incluyen rebajes correspondientes 104 para las proyecciones 102. Los elementos de junta en esta realización son plataformas de goma 106 colocadas entre las proyecciones 102 y los rebajes 104. Las plataformas de goma 106 funcionan de la misma manera que los casquillos de goma 90 en la figura 11, proporcionando los mismos grados de libertad entre el elemento de
40 acoplamiento 100 y las bridas de acoplamiento 42, 68 (y, por lo tanto, el árbol principal 16 y el miembro de entrada de la caja de engranajes 26).

Volviendo a referirnos a las figuras 2 y 3, el sistema de transmisión de la potencia 10 no solo consigue esta función
45 primaria de una manera ventajosa, sino que también consigue su función secundaria —la transferencia de cargas distintas del par desde un rotor a una torre— de forma que proporciona diversas ventajas. La carcasa de la caja de engranajes 60 se suspende desde la carcasa de cojinetes 22 a través de la carcasa del acoplamiento 62, como se ha expuesto anteriormente. El generador 28 puede estar también suspendido al estar acoplado a la caja de engranajes 24. Más específicamente, el generador incluye un rotor del generador 130 y un estator 132 posicionados dentro de una carcasa de generador 134. El rotor del generador 130 es accionado por un elemento de salida de la
50 caja de engranajes 136 y soportado para su rotación dentro de la carcasa del generador 134. El estator 132 se acopla rígidamente a la carcasa del generador 134, que a su vez se acopla rígidamente a, y se suspende desde, la carcasa de la caja de engranajes 60.

Sin soporte para la caja de engranajes 24 o generador 28, la única trayectoria de carga a través del sistema de
55 transmisión de la potencia 10 a la torre 12 (figura 1) sobre la que se coloca es a través de la carcasa de cojinetes 22 y una estructura de base 140 (figura 14). Esto se ilustra esquemáticamente por la flecha 138 en la figura 15. Como se muestra en las figuras 14 y 15, la carcasa de cojinetes 22 puede incluir primeras y segundas patas de soporte 142, 144 situadas próximas al primer cojinete 18, y terceras y cuartas patas de soporte 146, 148 situadas próximas al segundo cojinete 20. La primera, segunda, tercera y cuarta pata de soporte 142, 144, 146, 148 se montan sobre la
60 estructura de base 140, que está conformada de una forma particular para distribuir las cargas que recibe desde la carcasa de cojinetes 22. Ventajosamente, la estructura de base 140 distribuye las cargas a través de un fondo circular 150. Esto reduce las concentraciones de tensiones en un sistema de orientación (no mostrado) que fija la estructura de base 140 a la torre 12. Se describen detalles adicionales con relación a la forma de la carcasa de cojinetes 22 y la distribución de fuerzas en la Solicitud de Patente Provisional de Estados Unidos N.º 61/532.595, presentada el 9 de septiembre de 2011 y titulada "WIND TURBINE ROTOR SHAFT SUPPORT STRUCTURE", cuya
65 divulgación se incorpora en su totalidad en el presente documento por referencia.

Las realizaciones descritas anteriormente son meramente ejemplos de la invención definidas por las reivindicaciones que aparecen a continuación. Los expertos en el diseño de turbinas eólicas apreciarán ejemplos, modificaciones y ventajas adicionales basándose en la descripción. Por ejemplo, se apreciará que el árbol principal 16 y el buje 6 se acoplan rígidamente (por ejemplo, usando una de las posibilidades anteriormente mencionadas) de modo que sean parte del mismo cuerpo cinemático (un "cuerpo del rotor"). Aunque los ejemplos de las figuras 2-15 ilustran el miembro de entrada de la caja de engranajes 26 acoplado al árbol principal 16, en realizaciones alternativas el miembro de entrada de la caja de engranajes 26 puede acoplarse a este cuerpo del rotor en el buje 6. La figura 16 ilustra un ejemplo de una realización de ese tipo.

En la Fig. 16, que usa los mismos números de referencia para referirse a la estructura correspondiente con las otras realizaciones, la carcasa de la caja de engranajes 60 se acopla directamente a la carcasa de cojinetes 22 y se soporta sobre la estructura de base 140. Se ha mencionado anteriormente cómo no se requiere la suspensión de la caja de engranajes 24 desde la carcasa de cojinetes 22; los elementos rígidamente conectados que soportan el árbol principal 16 y la carcasa de la caja de engranajes 60 se consideran parte del mismo cuerpo cinemático (un cuerpo de "estructura de soporte"). En la realización de la Fig. 16, como en las otras realizaciones, este cuerpo cinemático soporta el cuerpo del rotor para su rotación alrededor del eje principal 14 y restringe otros movimientos. Más específicamente, el primer y segundo cojinete 18, 20 (parte del cuerpo de la estructura de soporte) soportan el árbol principal 16 para su rotación alrededor del eje principal 14 y restringen otros movimientos. La carcasa de la caja de engranajes 60 hace lo mismo con respecto al miembro de entrada de la caja de engranajes 26.

El miembro de entrada de la caja de engranajes 26 está aún acoplado al cuerpo del rotor con grados de libertad en traslación en todas las direcciones y grados de libertad en rotación alrededor de ejes perpendiculares al eje principal. Esto se consigue, sin embargo, mediante el acoplamiento del miembro de entrada de la caja de engranajes 26 al buje 6 (con el acoplamiento 64) en lugar de al árbol principal 16. El elemento dentro de la caja de engranajes 26 incluye un tubo de par 180 que se extiende a través del árbol principal 16 al acoplamiento 64 de modo que la caja de engranajes 24 pueda permanecer situada por detrás de la carcasa de cojinetes 22. El acoplamiento 64 mostrado en la figura 16 es similar a la realización de las figuras 9-11 en que incluye un elemento de acoplamiento 190 con pasadores 192 rodeados por casquillos de goma 194. Sobre un lado se reciben los pasadores 192 y casquillos de goma 194 en una brida de acoplamiento 196 atornillada al buje 6. En el otro lado los pasadores 192 y casquillos de goma 194 son recibidos en una brida de acoplamiento 198 atornillada al tubo de par 180 (y, por lo tanto, rígidamente acoplados al miembro de entrada de la caja de engranajes 26). Esta y otras realizaciones no se explican en detalle, dado que aún es aplicable la situación anterior sobre otras posibilidades. Los expertos en la materia apreciarán cómo la cinemática entre el cuerpo del rotor, estructura de soporte y miembro de entrada de la caja de engranajes se mantiene para proporcionar ventajas similares.

A la luz de lo anterior, los detalles de cualquier realización particular no deberían verse como limitando necesariamente el alcance de las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de transmisión de potencia (10) para incrementar la velocidad de rotación desde un rotor de una turbina eólica (2), que comprende:

un árbol principal (16) configurado para ser accionado por el rotor alrededor de un eje principal (14); una estructura de soporte que incluye al menos un cojinete (18, 20) que soporta el árbol principal (16) para su rotación alrededor del eje principal (14) y que restringe otros movimientos del árbol principal (16); y una caja de engranajes (24) que tiene una carcasa de caja de engranajes (60) rígidamente acoplada a la estructura de soporte y un miembro de entrada de la caja de engranajes (26) acoplado al árbol principal (16), soportando la carcasa de la caja de engranajes (60) el miembro de entrada de la caja de engranajes (26) para su rotación alrededor del eje principal (14) mientras restringe otros movimientos del miembro de entrada de la caja de engranajes (26), y estando acoplado el miembro de entrada de la caja de engranajes (26) al árbol principal (16) con grados de libertad en traslación en todas las direcciones y grados de libertad en rotación alrededor de ejes perpendiculares al eje principal,

caracterizado por que

el miembro de entrada de la caja de engranajes (26) se acopla al árbol principal (16) mediante un acoplamiento flexible (64) para adaptarse a desalineaciones en una dirección radial, concretamente desplazamientos a lo largo de los ejes perpendiculares al eje principal (14), y en una dirección axial, concretamente un desplazamiento a lo largo del eje principal, y para adaptarse a desplazamientos en una dirección angular, en la que el acoplamiento flexible (64) se define mediante: una parte terminal del árbol principal (42) asociada con el árbol principal (16); una parte terminal del miembro de entrada (68) asociada con el miembro de entrada (26), y un elemento de acoplamiento (92) acoplado a la parte terminal del árbol principal (42), definiendo de ese modo la parte terminal del miembro de entrada (68) dos juntas, en el que cada junta permite la rotación relativa entre el elemento de acoplamiento (92) y la parte terminal respectiva (42; 68) alrededor de ejes perpendiculares al eje principal y traslación relativa a lo largo del eje principal,

- en el que el acoplamiento flexible (64) incluye elementos de junta (90, 106) colocados entre la parte terminal del árbol principal (42) y la parte terminal del miembro de entrada (68) y el elemento de acoplamiento (92, 100), comprendiendo los elementos de junta (90, 106) un material flexible, en el que cualquiera de una pluralidad de pasadores (94) sobresalen desde lados opuestos del elemento de acoplamiento (92) en la dirección axial, en el que los elementos de junta incorporados en el acoplamiento (64) son casquillos de goma (90) recibidos sobre los pasadores (94), en el que el elemento de acoplamiento (92) a través de los pasadores (94) en un lado tiene una junta con una brida de acoplamiento (42) asociada con el árbol principal (16), y a través de los pasadores (94) sobre el otro lado tiene una junta con una brida de acoplamiento (68) asociada con el miembro de entrada de la caja de engranajes (26), en el que los pasadores (94) con los casquillos de goma (90) se insertan en orificios (96) provistos en las bridas de acoplamiento (42; 68),
o
el elemento de acoplamiento (100) incluye proyecciones de tipo bloque (102) y las bridas de acoplamiento (42, 68) incluyen rebajes correspondientes para la proyección (102), siendo los elementos de junta plataformas de goma (106) colocadas entre las proyecciones (102) y los rebajes (104), en el que las plataformas de goma (106) funcionan de la misma manera que los casquillos de goma (90).

2. Un sistema de transmisión de potencia (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la estructura de soporte incluye además una carcasa de cojinete (22) que rodea el al menos un cojinete (18, 20), estando la carcasa de la caja de engranajes (60) suspendida desde la carcasa de cojinete (22).

3. Un sistema de transmisión de potencia (10) de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el árbol principal (16) se acopla al miembro de entrada de la caja de engranajes (26) mediante un acoplamiento flexible (64), comprendiendo adicionalmente el sistema de transmisión de potencia (10):

una carcasa de acoplamiento (62) que rodea el acoplamiento flexible (64), estando suspendida la carcasa de la caja de engranajes (60) desde la carcasa de cojinetes (22) a través de la carcasa del acoplamiento (62).

4. Un sistema de transmisión de potencia (10) de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, que comprende, además: un generador que tiene un rotor y estator de generador (132) posicionado dentro de la carcasa de generador (134), estando rígidamente acoplada la carcasa del generador (134) a y suspendida desde la carcasa de la caja de engranajes (60).

5. Un sistema de transmisión de potencia (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2-4, en el que el al menos un cojinete (18, 20) comprende un primer cojinete (18) y un segundo cojinete (20) separados dentro de la carcasa de cojinete (22).

6. Un sistema de transmisión de potencia (10) de acuerdo con la reivindicación 5, teniendo la carcasa de cojinetes

(22) primeras y segundas patas de soporte (142, 144) situadas próximas al primer cojinete (18) y terceras y cuartas patas de soporte (146, 148) situadas próximas al segundo cojinete (20), comprendiendo adicionalmente el sistema de transmisión de la potencia (10):

- 5 una estructura de base (140) en la que la primera, segunda, tercera y cuarta pata (142, 144, 146, 148) de la carcasa de cojinete (22) se montan, teniendo la estructura de base (140) un fondo circular (150) y que está conformada para distribuir las cargas recibidas desde la carcasa de cojinete (22) a través del fondo circular (150).

- 10 7. Un sistema de transmisión de potencia (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el elemento de acoplamiento (100) incluye proyecciones (102) que se extienden hacia la parte terminal del árbol principal (42) y a la parte terminal del miembro de entrada (68) del árbol principal (16) y del miembro de entrada de la caja de engranajes (26), incluyendo la parte terminal del árbol principal (42) y la parte terminal del miembro de entrada (68) rebajes (104) en los que se reciben proyecciones (102), y situándose los elementos de junta (90, 106) entre las proyecciones (102) y los rebajes (104).

- 15 8. Una turbina eólica (2), que comprende:

un rotor que tiene un buje (6) y palas del rotor (4) montadas en el buje (6);
un sistema de transmisión de potencia (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el árbol principal (16) se acopla al buje (6) de modo que sea accionado por el rotor.

20

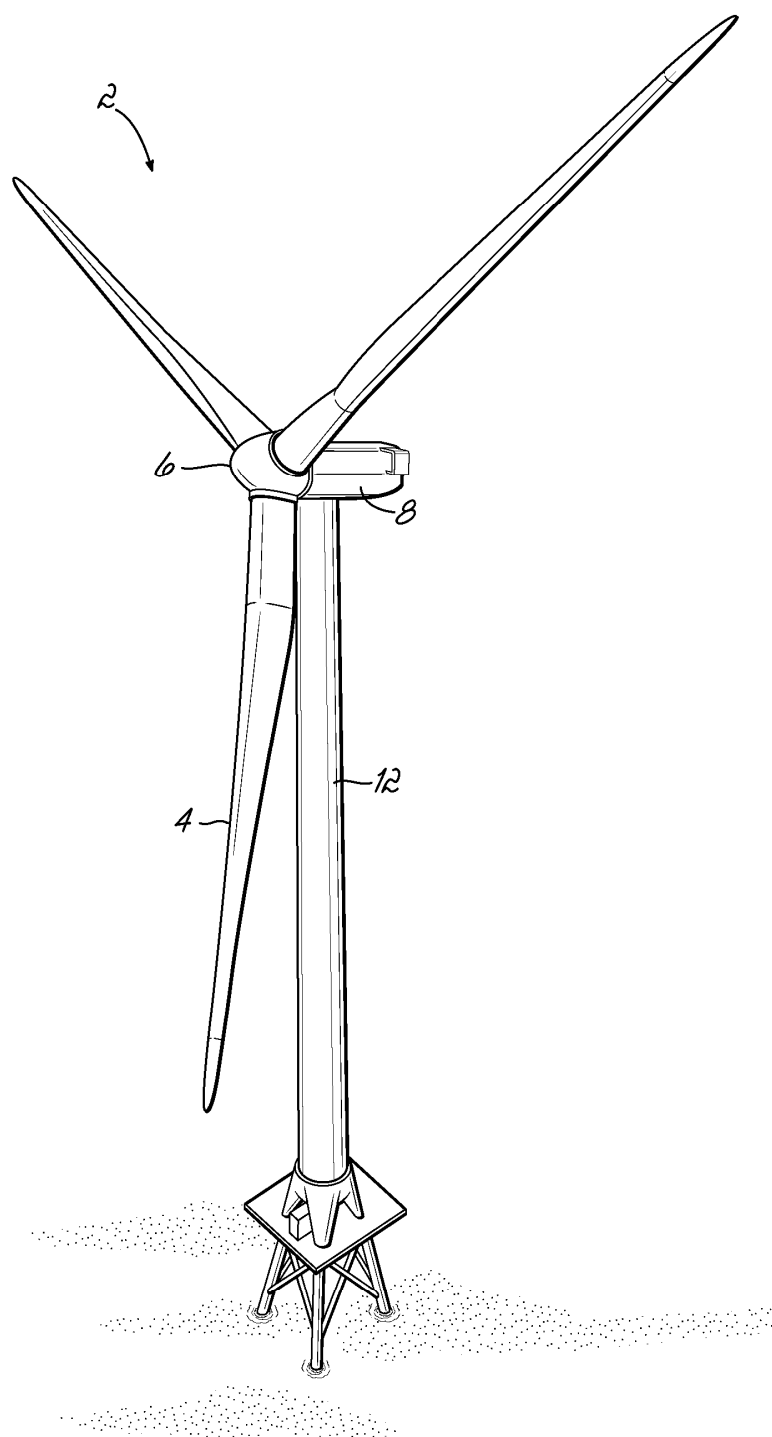


FIG. 1

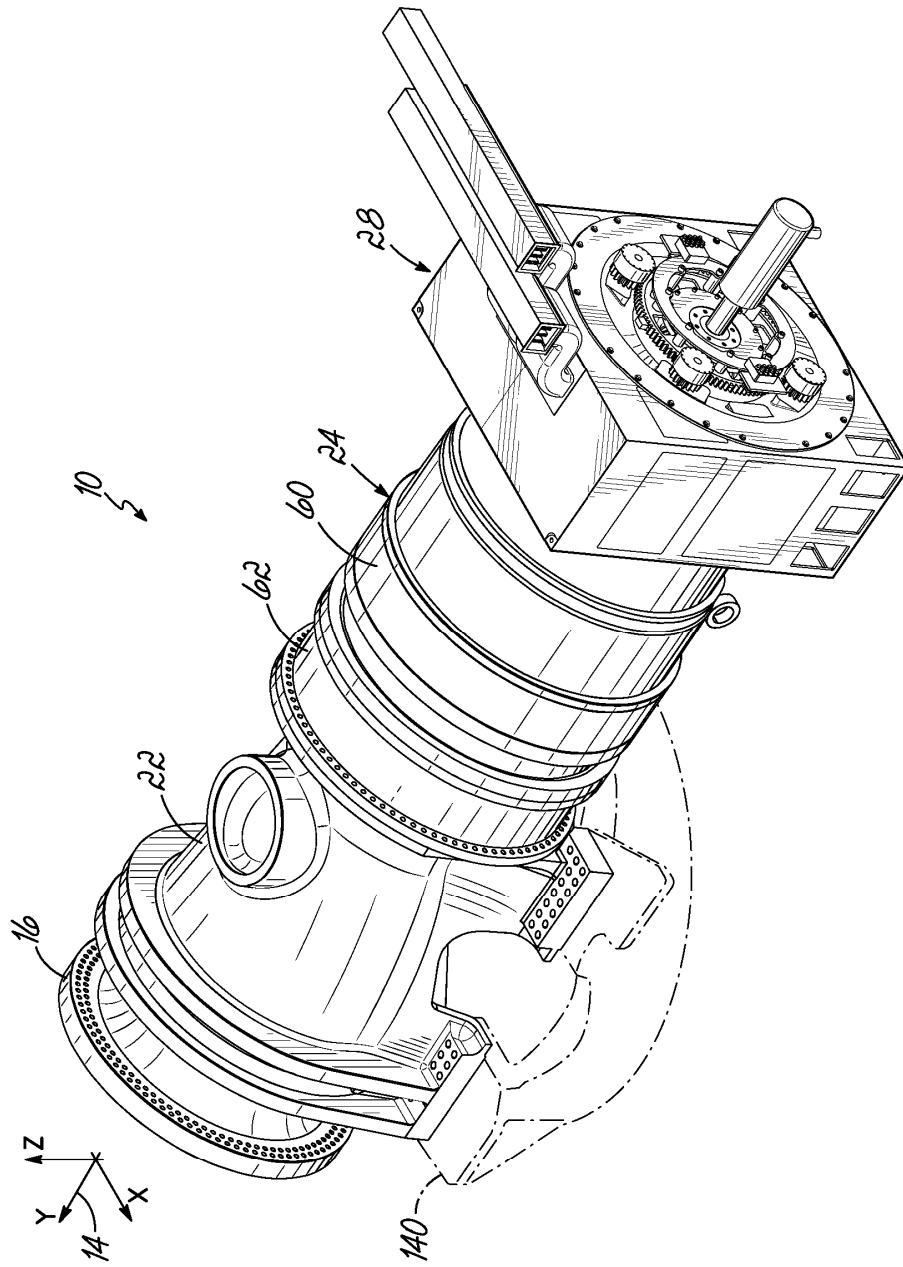


FIG. 2

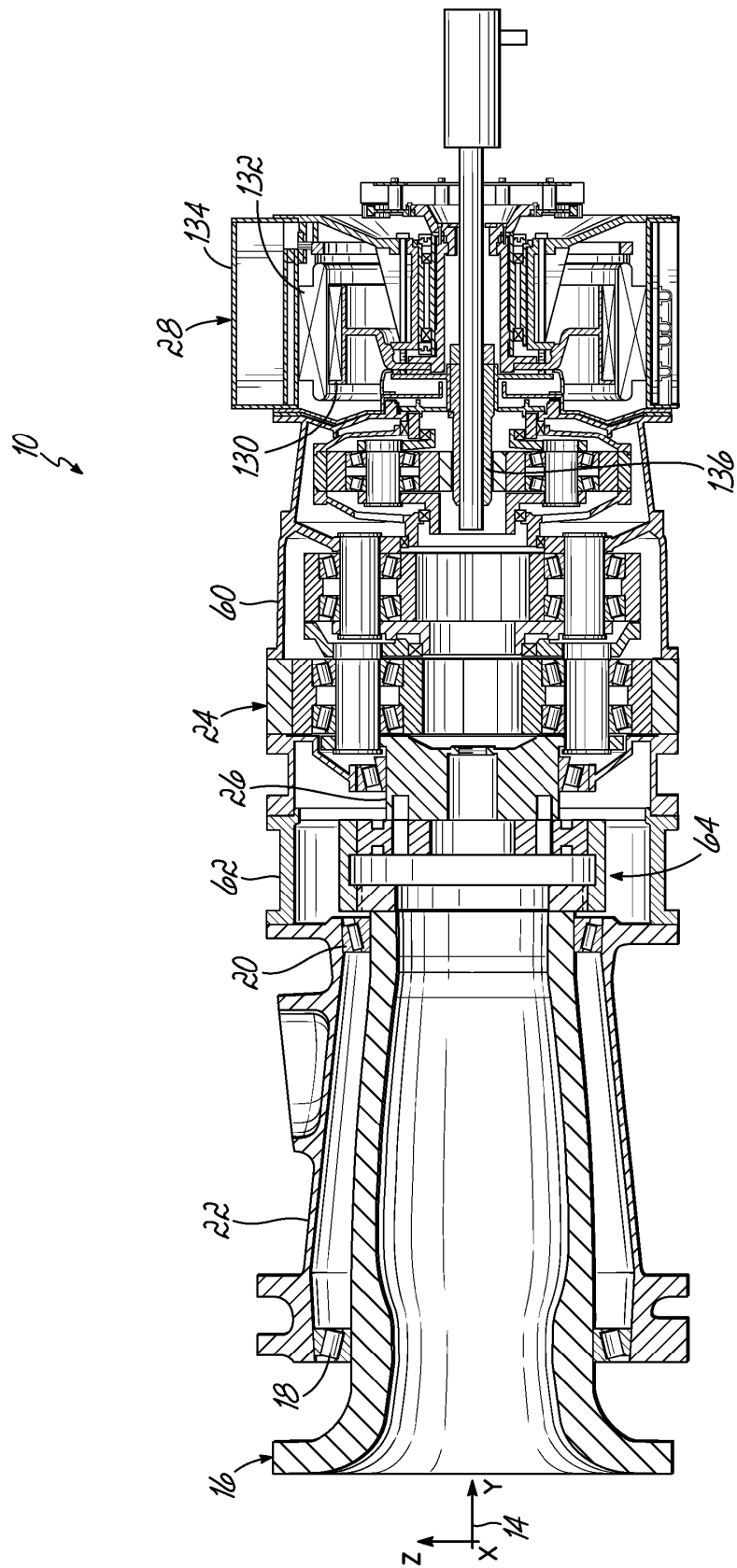


FIG. 3

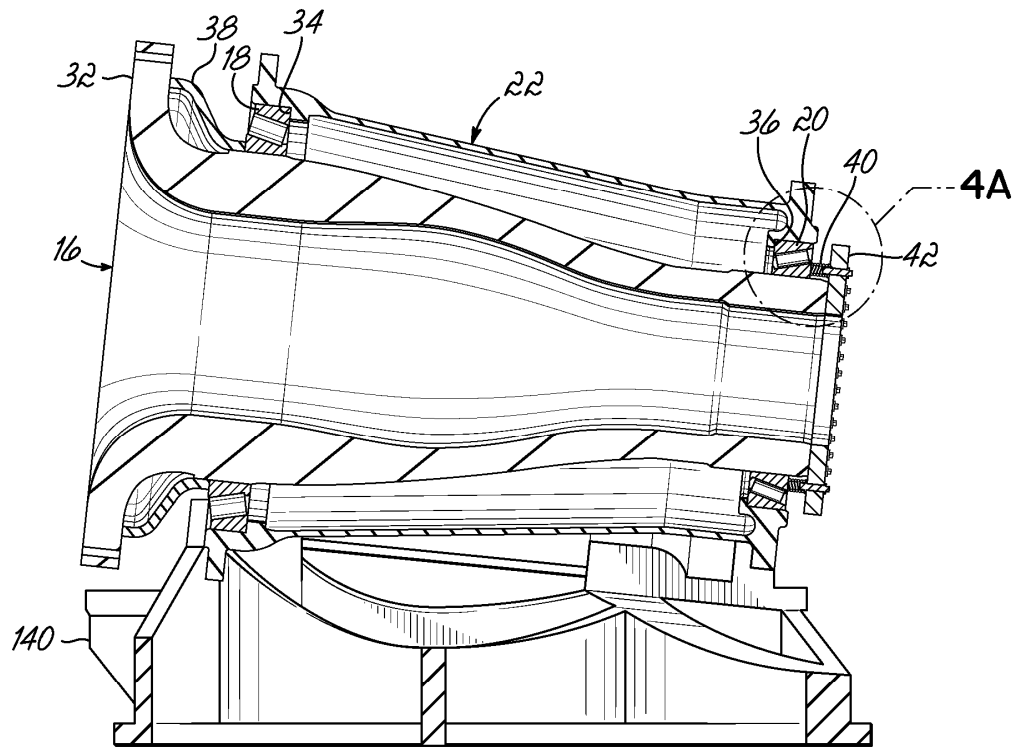


FIG. 4

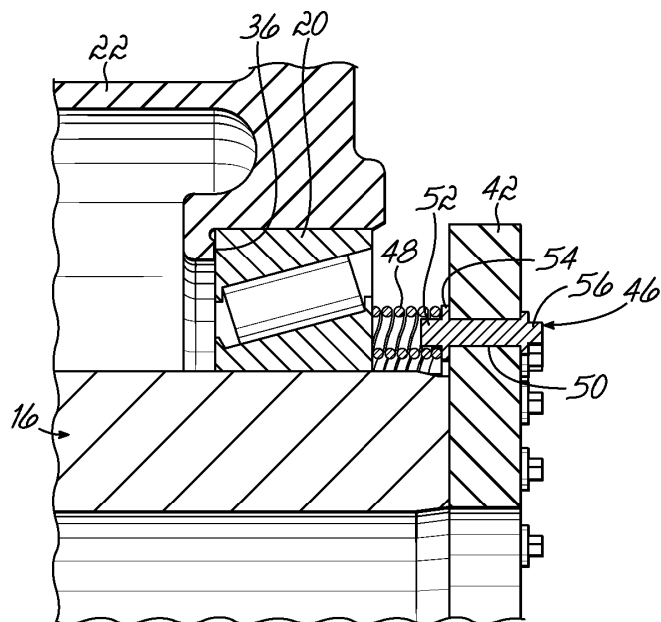


FIG. 4A

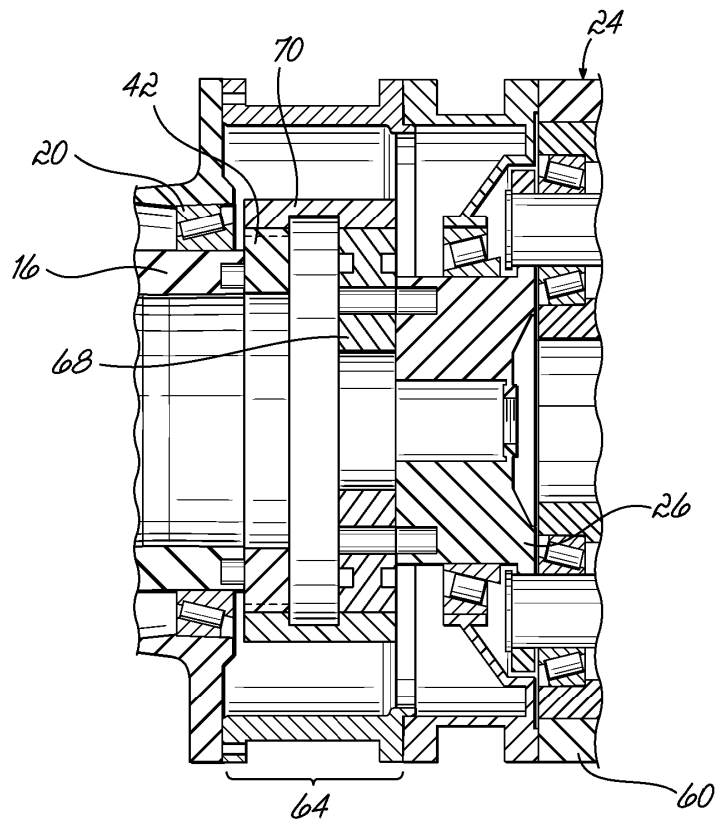


FIG. 5

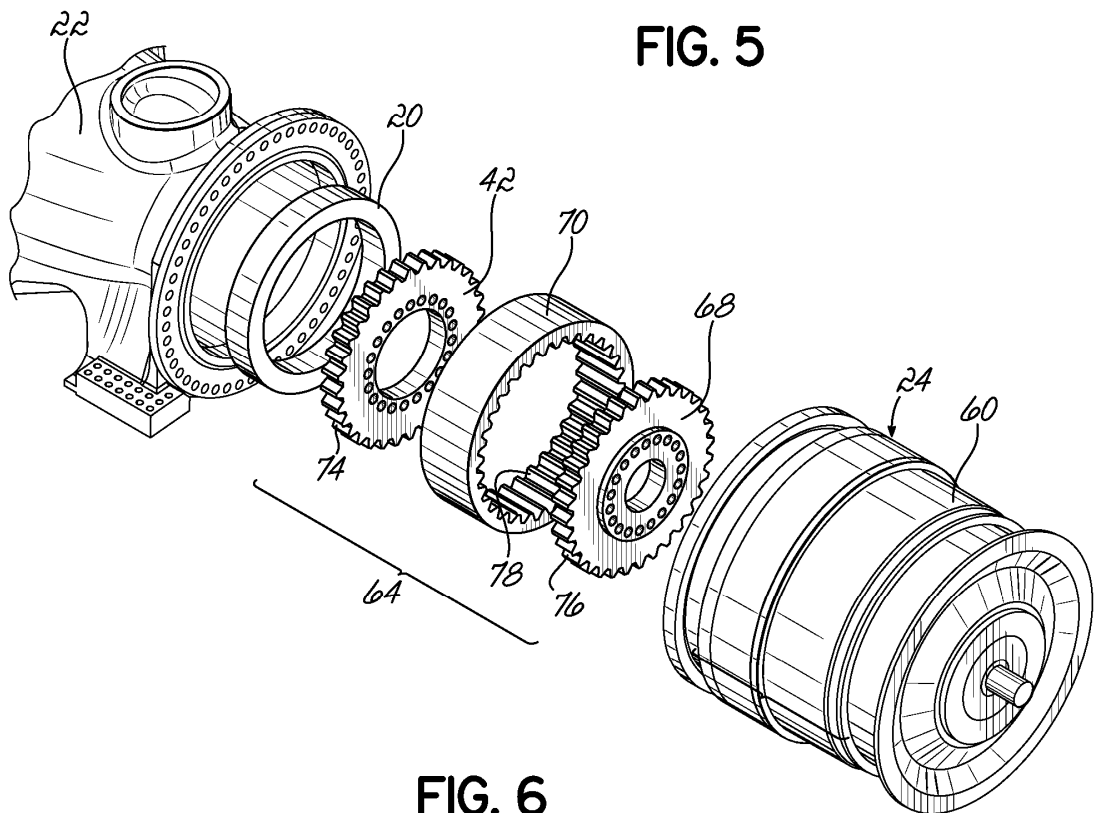


FIG. 6

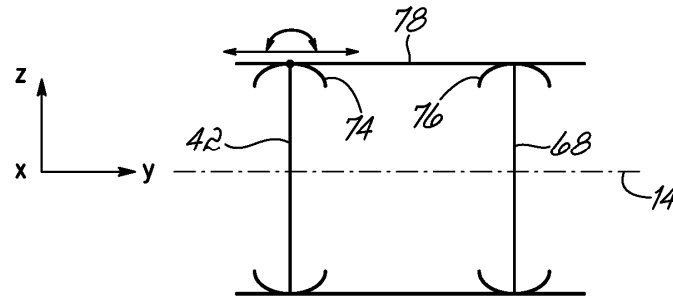


FIG. 7A

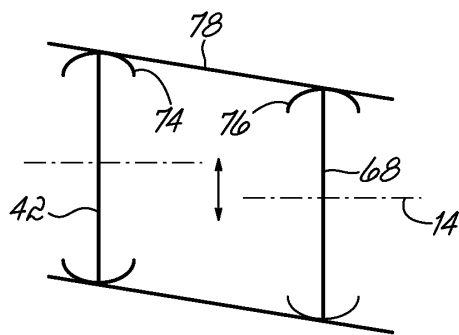


FIG. 7B

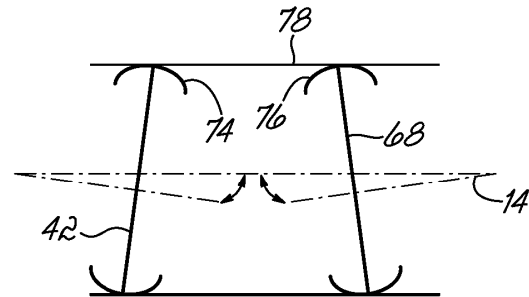


FIG. 7C

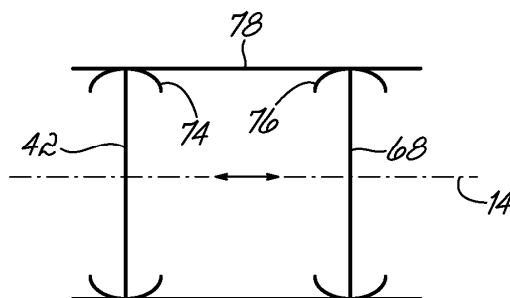


FIG. 7D

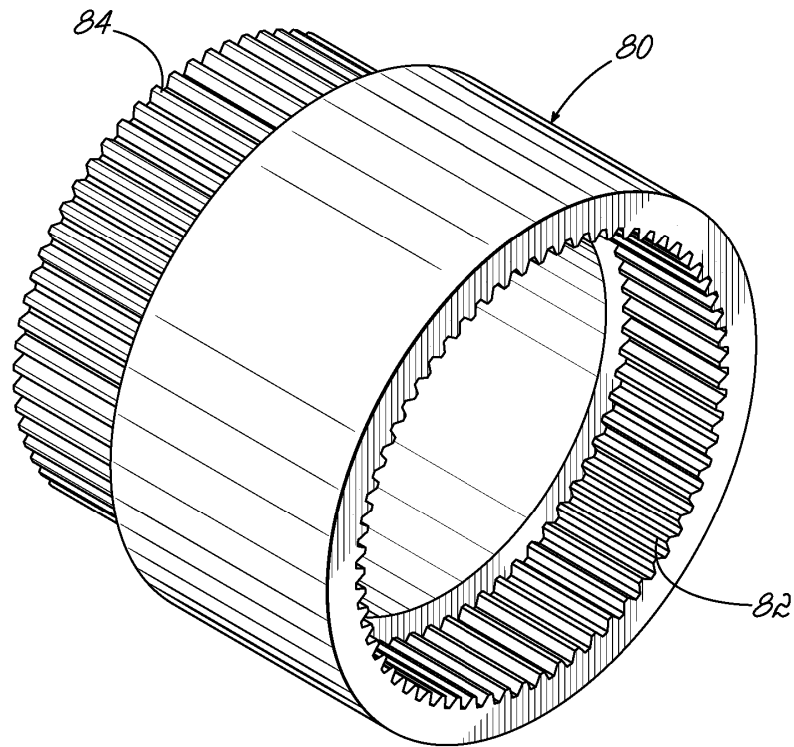


FIG. 8

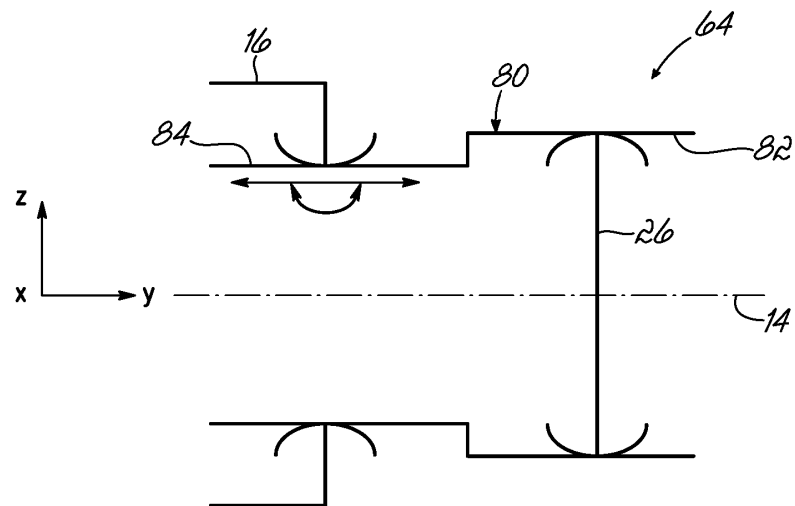


FIG. 8A

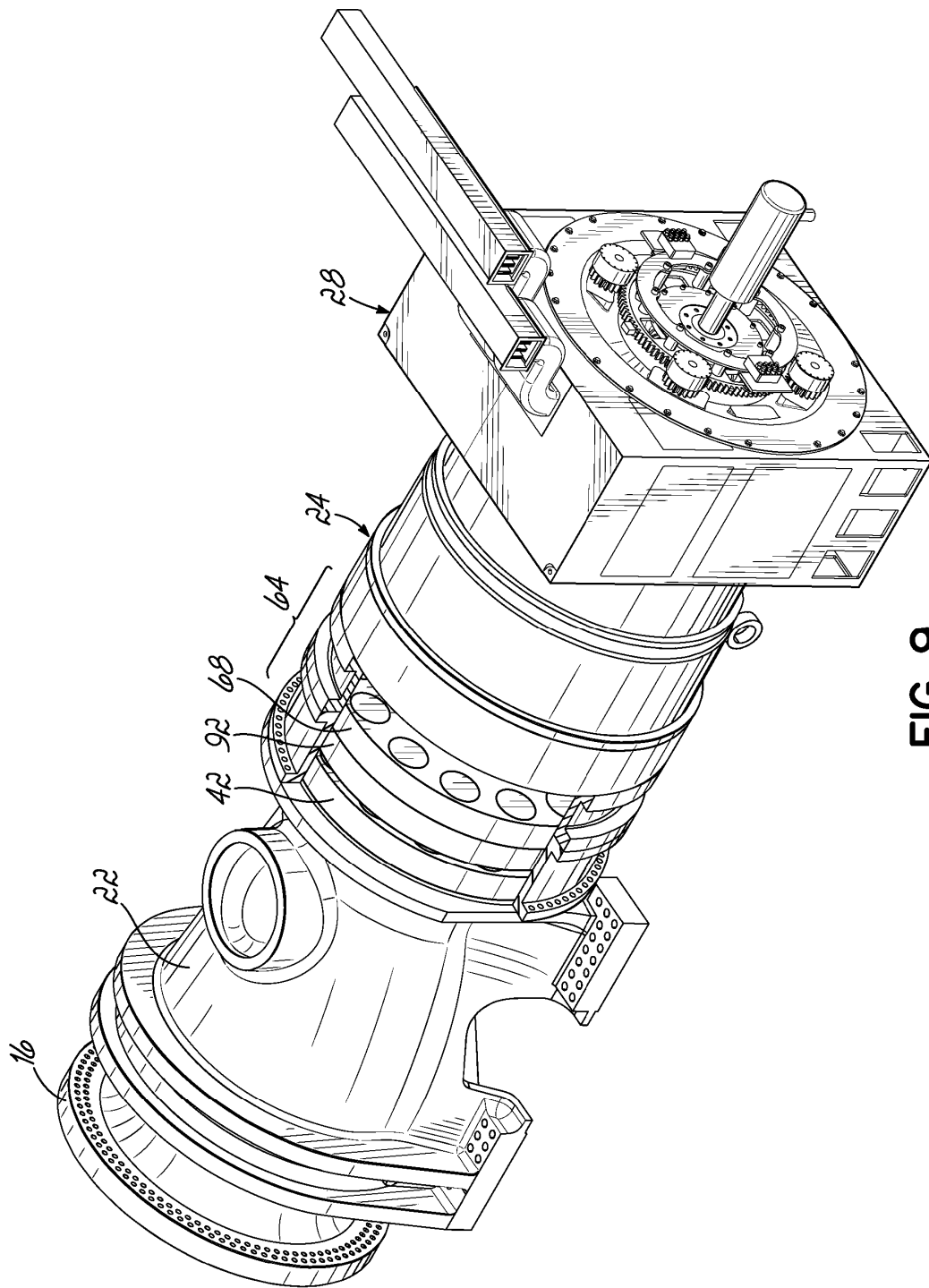


FIG. 9

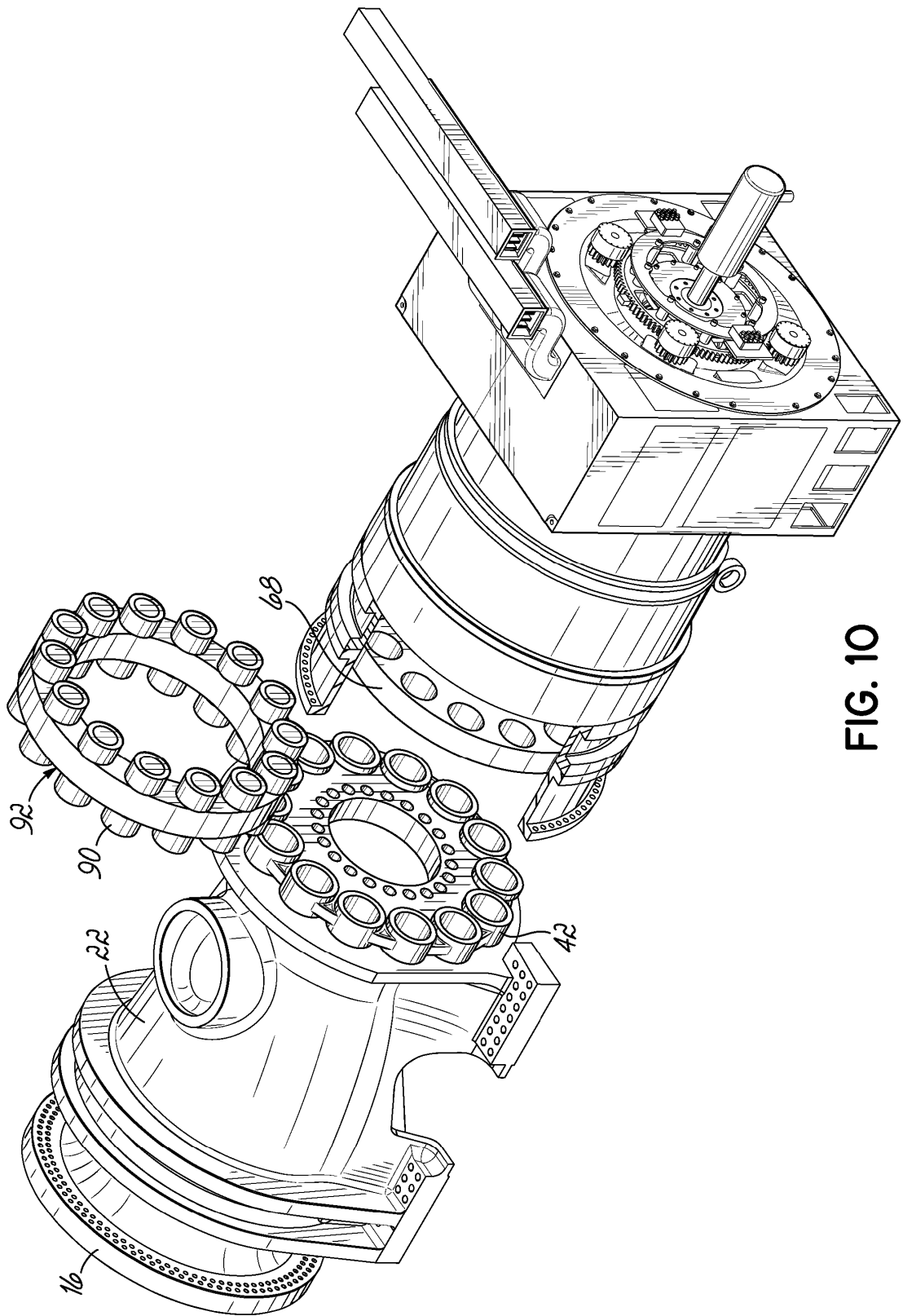


FIG. 10

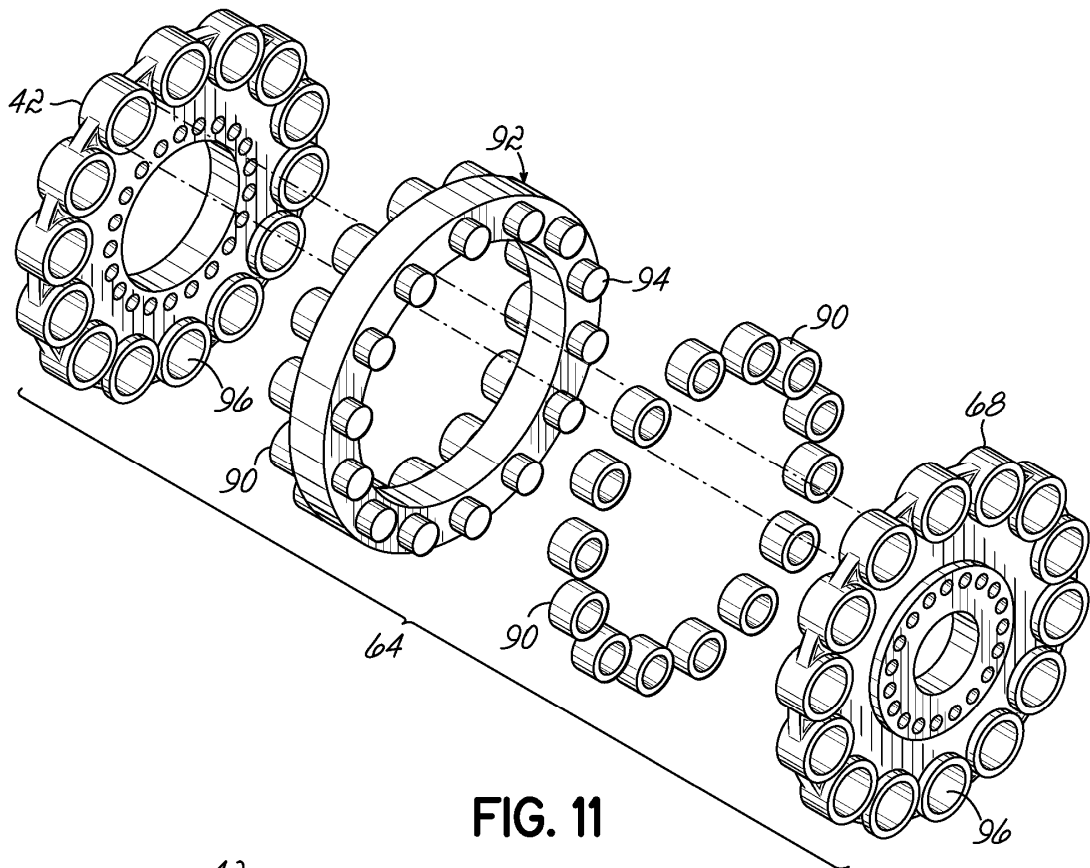


FIG. 11

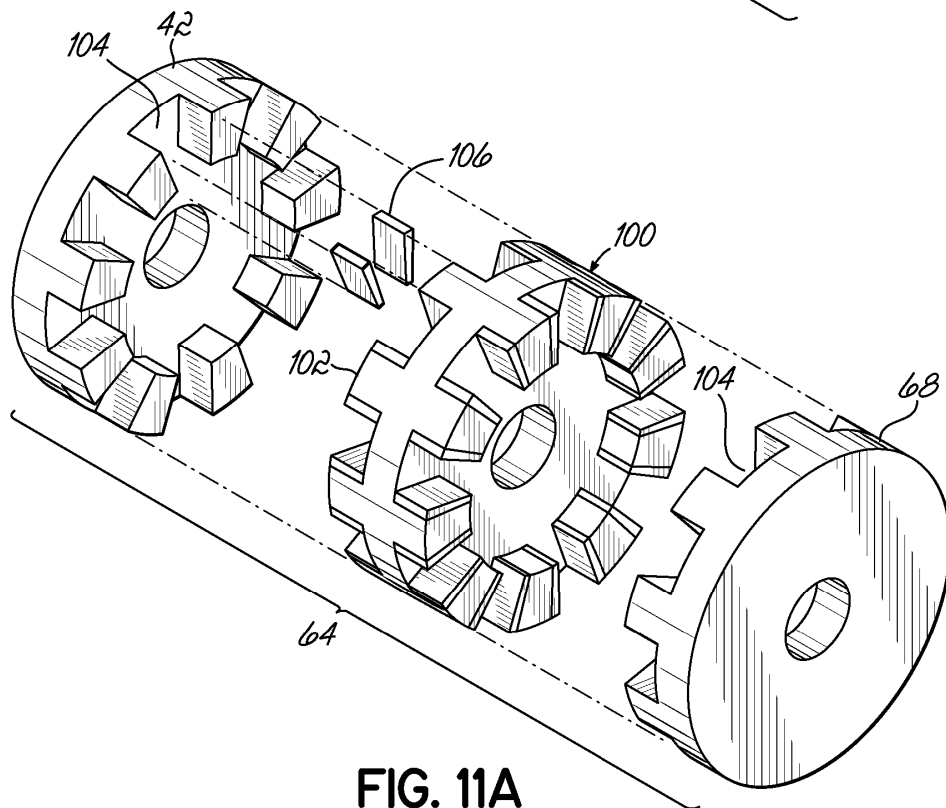


FIG. 11A

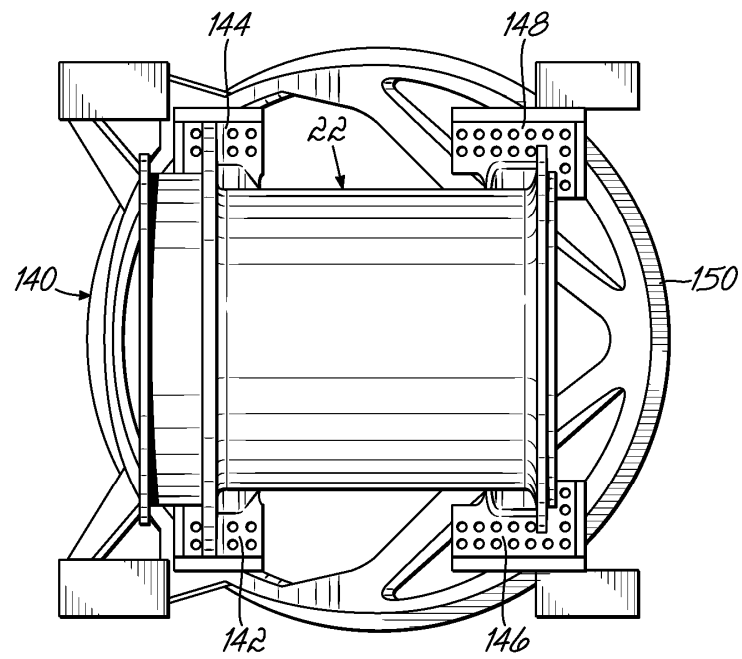


FIG. 14

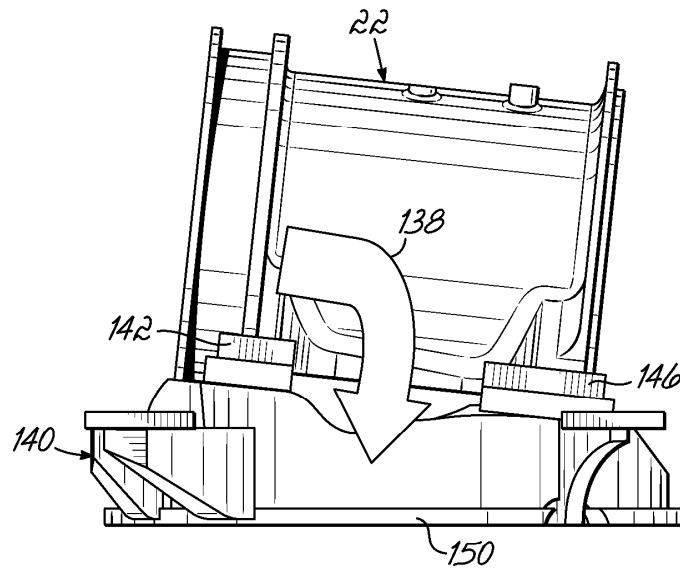


FIG. 15

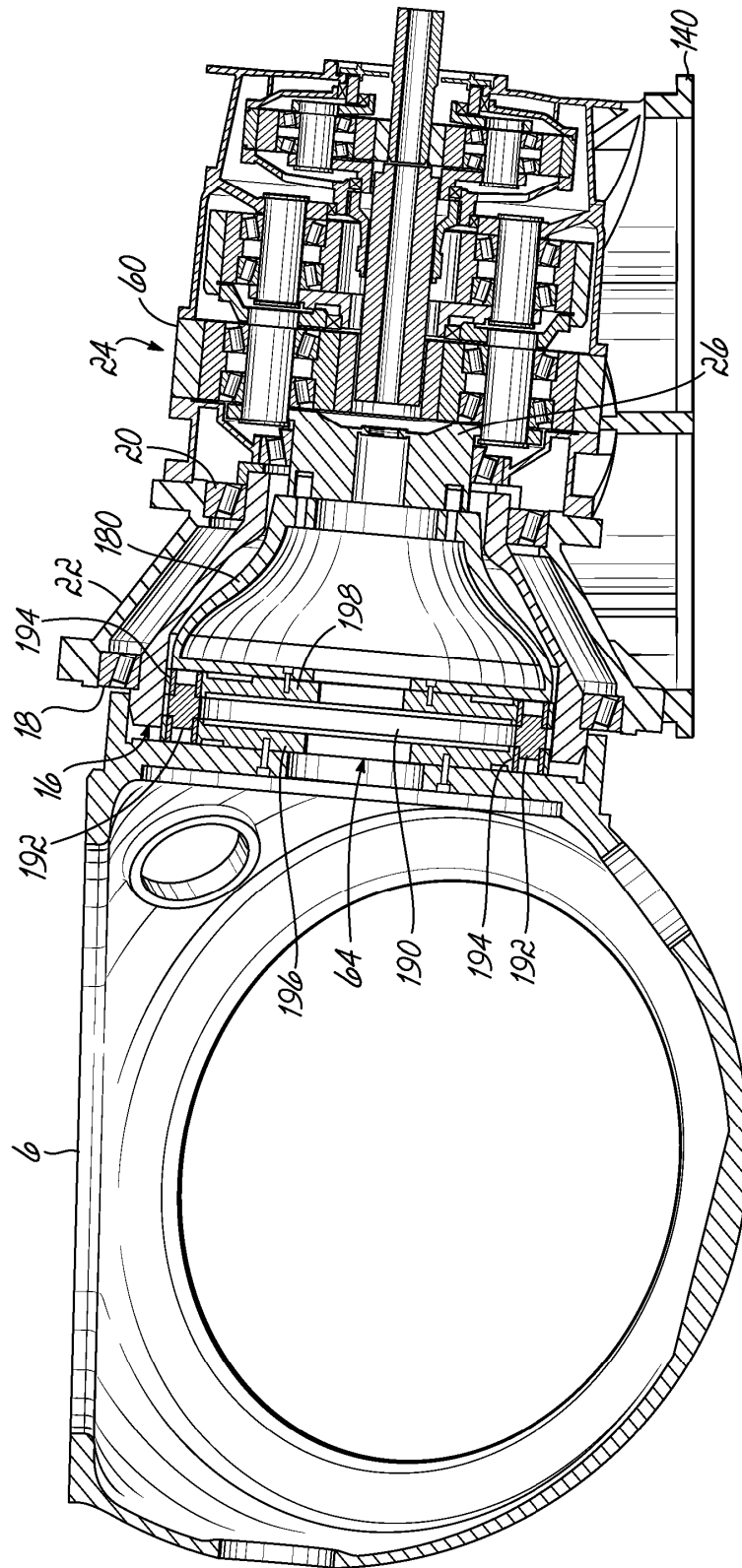


FIG. 16