

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 683**

51 Int. Cl.:

**B64C 27/72** (2006.01)

**B64C 27/59** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.10.2015** E 15188930 (0)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2019** EP 3034399

54 Título: **Aparato de conjunto de rotor**

30 Prioridad:

**15.12.2014 US 201414570709**

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

**03.03.2020**

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)  
100 North Riverside Plaza  
Chicago, IL 60606-1596 , US**

72 Inventor/es:

**PODGURSKI, DANIEL M.**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 745 683 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**

Aparato de conjunto de rotor

**Campo**

La presente divulgación se refiere, en general, a aeronaves y, más particularmente, a aparatos de conjunto de rotor.

**5 Antecedentes**

Los vehículos de rotor emplean uno o más álabes acoplados a un rotor. El rotor acciona una rotación de los álabes. Una capacidad de manipular determinadas características de los álabes, tales como cabeceo colectivo y cabeceo cíclico, permite que un operario controle el movimiento de los vehículos de rotor.

10 El documento US 2 584 663 A da a conocer perfiles aerodinámicos de alabeo variables y particularmente álabes de perfiles aerodinámicos de alabeo variables para propulsores de aeronave o rotores de sustentación o similares.

El documento US 2 475 121 A da a conocer una mejora de hélices para aeronaves, y más particularmente un diseño y/o ajuste con el fin de mejorar la eficacia y eficiencia de hélices en condiciones de vuelo altamente variables.

El documento US 4 364 708 A da a conocer un molino de viento de generación de energía eléctrica, y más particularmente un molino de viento que tiene palas tanto con giro de cabeceo variable como con rotación variable.

**15 Sumario**

Se proporciona un conjunto de rotor, que comprende un accionador de giro configurado para accionar una primera rotación de un árbol de accionamiento alrededor de un primer eje, estando el accionador de giro colocado en un centro de rotación del conjunto de rotor; y un primer conjunto de engranajes para convertir la primera rotación en una pluralidad de segundas rotaciones de una pluralidad de segundos árboles, proporcionando cada uno de los segundos árboles par a un álabe respectivo acoplado al conjunto de rotor; comprendiendo además el conjunto de rotor árboles de cabeceo; y en el que el conjunto de rotor comprende portadores de engranajes planetarios, estando cada portador acoplado a uno respectivo de los segundos árboles; estando un sistema de engranaje planetario de primera etapa dispuesto en cada uno de los portadores; estando un sistema de engranaje planetario de segunda etapa dispuesto en cada uno de los portadores; y estando un árbol de salida acoplado a cada uno de los sistemas de engranaje planetario de segunda etapa para proporcionar el par a álabes respectivos de los álabes; y estando un piñón central de los sistemas de engranaje planetario de primera etapa acoplado a uno respectivo de los árboles de cabeceo.

Un ejemplo incluye un accionador de giro para accionar una primera rotación de un primer árbol alrededor de un primer eje, estando el accionador de giro colocado en un centro de rotación del conjunto de rotor; y un primer conjunto de engranajes para convertir la primera rotación en una pluralidad de segundas rotaciones de una pluralidad de segundos árboles, proporcionando cada uno de los segundos árboles par a un álabe respectivo acoplado al conjunto de rotor.

Un ejemplo adicional incluye un portador acoplado a un árbol de accionamiento, extendiéndose el árbol de accionamiento a través de un árbol de cabeceo de un conjunto de rotor, proporcionando el árbol de accionamiento una primera cantidad de par al portador; estando un sistema de engranaje planetario de primera etapa dispuesto en el portador, siendo el portador para accionar la rotación del sistema de engranaje planetario de primera etapa; estando un sistema de engranaje planetario de segunda etapa dispuesto en el portador, siendo el sistema de engranaje planetario de primera etapa para accionar la rotación del sistema de engranaje planetario de segunda etapa; y siendo una salida del sistema de engranaje planetario de segunda etapa para proporcionar una segunda cantidad de par a un álabe.

Un ejemplo adicional incluye un primer conjunto de engranajes para convertir par alrededor de un primer eje proporcionado por un accionador central de un conjunto de rotor para dar segundos pares alrededor de segundos ejes, siendo los segundos ejes diferentes del primer eje, comprendiendo el primer conjunto de engranajes un primer engranaje angulado concéntrico con un primer árbol de accionamiento del accionador central; y segundos engranajes angulados, siendo cada uno de los segundos engranajes angulados para engranarse con el primer engranaje angulado; y siendo un segundo conjunto de engranajes para recibir uno de los segundos pares alrededor de uno de los segundos ejes por medio de un segundo árbol de accionamiento, comprendiendo el segundo conjunto de engranajes un primer sistema de engranaje planetario accionado por el segundo árbol de accionamiento; y un segundo sistema de engranaje planetario accionado por el primer sistema de engranaje planetario, comprendiendo el segundo sistema de engranaje planetario un piñón central acoplado a un árbol de salida.

Las características, funciones y ventajas que se han comentado pueden lograrse de manera independiente en diversas realizaciones o pueden combinarse en incluso otras realizaciones, cuyos detalles adicionales pueden observarse con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

**Breve descripción de los dibujos**

La figura 1 es una ilustración de vehículos de rotor a modo de ejemplo en los que pueden implementarse las enseñanzas de esta divulgación.

5 La figura 2 es una vista en elevación de un conjunto de rotor a modo de ejemplo construido según las enseñanzas de esta divulgación.

La figura 3 es una vista en planta del conjunto de rotor a modo de ejemplo de la figura 2.

La figura 4 es una vista isométrica del conjunto de rotor a modo de ejemplo de las figuras 2 y 3.

La figura 5 es una vista en sección transversal parcial del conjunto de rotor a modo de ejemplo de las figuras 2-4 que incluye un conjunto de reducción de engranaje a modo de ejemplo.

10 La figura 6 es una vista isométrica del conjunto de reducción de engranaje a modo de ejemplo de la figura 5 que incluye un sistema de engranaje planetario de primera etapa y un sistema de engranaje planetario de segunda etapa.

La figura 7 es una vista en despiece ordenado del ejemplo conjunto de reducción de engranaje a modo de ejemplo de las figuras 5 y/o 6.

15 La figura 8 es una vista en sección transversal del conjunto de engranaje planetario de primera etapa a modo de ejemplo de las figuras 6 y 7.

La figura 9 es una vista en sección transversal del sistema de engranaje planetario de segunda etapa a modo de ejemplo de las figuras 6 y 7.

20 La figura 10 es una vista en sección transversal del conjunto de reducción de engranaje a modo de ejemplo de las figuras 5-7.

La figura 11 es otra vista en sección transversal del conjunto de reducción de engranaje a modo de ejemplo de las figuras 5-7.

La figura 12 es una vista isométrica del ejemplo conjunto de rotor a modo de ejemplo de las figuras 1-5.

25 Siempre que sea posible, se usarán los mismos números de referencia en la totalidad del/de los dibujo(s) y descripción escrita adjunta para hacer referencia a las mismas partes o partes similares. Tal como se usa en esta patente, la afirmación de que cualquier parte (por ejemplo, una capa, película, zona, o placa) está colocada de alguna manera en (por ejemplo, colocada en, ubicada en, dispuesta en, o formada en, etc.) otra parte, significa que la parte a la que se hace referencia está o bien en contacto con la otra parte, o bien que la parte a la que se hace referencia está por encima de la otra parte con una o más parte(s) intermedia(s) ubicadas entre las mismas. Tal como se usa en el presente documento, los términos “acoplado” y “acoplado de manera operativa” se definen como conectados directa o indirectamente (por ejemplo, a través de una o más estructuras implicadas y/o capas). La afirmación de que cualquier parte está en contacto con otra parte significa que no existe ninguna parte intermedia entre las dos partes.

30

**Descripción**

35 La figura 1 muestra una máquina a modo de ejemplo en la que pueden utilizarse métodos y aparatos dados a conocer a modo de ejemplo en el presente documento. Aunque se describen métodos y aparatos a modo de ejemplo dados a conocer en el presente documento en relación con la figura 1, los ejemplos dados a conocer en el presente documento pueden implementarse en relación con cualquier tipo de máquina o dispositivo que tenga álabes de rotor, tales como aeronaves, vehículos acuáticos, vehículos con sustentación por aire, turbinas eólicas, etc. La figura 1 muestra un helicóptero 100 que tiene un sistema 102 de rotor que acciona una pluralidad de álabes 104 de rotor. El sistema 102 de rotor hace rotar los álabes 104 para dotar al helicóptero 100 de elevación y empuje. A medida que los álabes 104 rotan a través del aire, cada uno de los álabes 104 rota a lo largo de una trayectoria de rastreo o plano de rotación. La cantidad de elevación y/o empuje proporcionada por cada uno de los álabes 104 y la trayectoria de rastreo recorrida por cada uno de los álabes 104 depende de características aerodinámicas del álabes respectivo. Por ejemplo, cada uno de los álabes 104 tiene un perfil aerodinámico, un momento de cabeceo, una distribución de peso, un giro, una longitud de cuerda, etc., particulares.

40

45

Un operario del helicóptero 100 manipula los álabes 104 por medio de controles en comunicación con el sistema 102 de rotor. Por ejemplo, el operario usa una entrada colectiva para controlar una altitud del helicóptero 100. La entrada colectiva cambia simultáneamente un ángulo de ataque o cabeceo de cada álabes la misma cantidad o una cantidad igual. Adicionalmente, el operario usa una entrada cíclica para controlar el movimiento lateral (por ejemplo, izquierdo, derecho, hacia adelante, hacia la popa) del helicóptero 100. La entrada cíclica cambia el ángulo de ataque o cabeceo de cada álabes en función de la posición durante una revolución con respecto a, por ejemplo, un fuselaje. El sistema 102 de rotor a modo de ejemplo de la figura 1 incluye un plato cíclico en comunicación con las entrada

50

cíclica y colectiva para implementar el cambio en el ángulo de ataque o cabeceo. El sistema de rotor a modo de ejemplo de la figura 1 incluye uniones (por ejemplo, vástagos y/o pasadores) que se extienden desde el plato cíclico hasta los álabes 104 para implementar los controles. Para las entradas colectivas, el plato cíclico se eleva o baja de manera que cada una de las uniones altera el cabeceo del álabes 104 correspondiente una misma cantidad. Para las

5 entradas cíclicas, el plato cíclico se inclina de manera que las uniones alteran el cabeceo de los álabes 104 correspondientes en función de una posición en una rotación. Es decir, a medida que rotan los álabes 104, la entrada cíclica altera álabes respectivos de los álabes 104 basándose en dónde se encuentran los álabes 104 en la rotación.

Adicionalmente, el giro de los álabes 104 (por ejemplo, estáticamente durante un determinado tipo de vuelo tal como despegue, aterrizaje, o crucero o múltiples veces por revolución) puede reducir la vibración, reducir el ruido y/o, más generalmente, aumentar el rendimiento. En el ejemplo ilustrado, se coloca un árbol de torsión en el álabes. Un primer extremo del álabes 104 se fija y otro extremo del álabes 104 se permite que gire. Al aplicar un par al árbol de torsión del álabes 104 se provoca el giro del álabes 104 en la punta flexible del álabes 104. Por tanto, el giro del álabes 104 altera el álabes 104 de un perfil aerodinámico de referencia a un perfil aerodinámico modificado. Por ejemplo, el

10 operario del helicóptero 100 puede desear que el perfil aerodinámico modificado del álabes 104, distribuya de manera más uniforme la elevación a través del álabes 104 correspondiente durante determinadas condiciones y/o modos de funcionamiento.

Los sistemas de rotor conocidos que utilizan tales técnicas de giro de álabes incluyen múltiples accionadores de giro, uno para que se haga girar cada álabes. Como tales, estos sistemas conocidos requieren sensores de posición por duplicado, motores, frenos de motor, reductores de velocidad de engranajes, etc. Además, cada uno de los accionadores individuales empleados por sistemas conocidos se ubican a una distancia (por ejemplo, al 6,5% de un radio de rotor) alejados de un centro de rotación del conjunto de rotor. Como tal, los accionadores de giro de estos sistemas conocidos experimentan carga G asociada con posiciones ubicadas lejos del centro de rotación. Además, dado que el cabeceo de álabes y el giro de álabes implican cambio de rotación en direcciones similares (por ejemplo,

20 alrededor del mismo eje o ejes sustancialmente similares), el cambio en el cabeceo de álabes puede afectar de manera indeseable el giro de álabes. Es decir, las alteraciones en el cabeceo de álabes pueden introducir una determinada medida de error en el giro de álabes correspondiente. Por ejemplo, cuando el álabes 104 en los sistemas conocidos realiza el cabeceo hacia adelante aproximadamente a un momento de cabeceo, el giro del álabes 104 y el perfil aerodinámico modificado correspondiente del álabes 104 no se mantienen a medida que el álabes 104 realiza el cabeceo hacia adelante. Por tanto, en los sistemas conocidos, el giro del álabes 104 puede verse influido de manera indeseable cuando se realiza el cabeceo del álabes 104.

Ejemplos dados a conocer en el presente documento incluyen resolver o mejorar estos y otros problemas de los sistemas conocidos que giran álabes de rotor. Tal como se describe en detalle a continuación, los ejemplos dados a conocer en el presente documento incluyen un único accionador de giro para controlar el giro de cualquier número

35 de álabes. Por ejemplo, el único accionador de giro de los ejemplos dados a conocer puede controlar el giro de todos los cuatro (4) de los álabes 104 a modo de ejemplo de la figura 1. Por tanto, los ejemplos dados a conocer en el presente documento reducen el peso, la complejidad, el coste, y los problemas de fiabilidad asociados con las partes por duplicado implicadas en los sistemas conocidos que presentan accionadores individuales para cada álabes. Además, el único accionador de giro de los ejemplos dados a conocer en el presente documento se ubica en un centro de rotación de los álabes. Por tanto, los ejemplos dados a conocer en el presente documento eliminan o al menos reducen la carga G inducida por los sistemas conocidos que ubican los accionadores de giro individuales a distancias alejadas del centro de rotación. Adicionalmente, los ejemplos dados a conocer en el presente documento incluyen un conjunto de engranajes que tienen etapas primera y segunda que interactúan de manera operativa para reducir la cantidad de par de accionamiento requerido para girar los álabes 104. A continuación, se proporcionan detalles y ventajas de ejemplos dados a conocer en el presente documento en relación con las figuras 2-12.

La figura 2 representa un conjunto 200 de rotor a modo de ejemplo construido según enseñanzas de esta divulgación. El conjunto 200 de rotor a modo de ejemplo de la figura 2 recibe órdenes tales como, por ejemplo, señales de control colectivas y señales de control cíclicas procedentes de un operario del helicóptero 100 de la figura 1. Tal como se describió anteriormente, las señales de control colectivas ajustan un cabeceo de cada álabes 104 de manera similar, al tiempo que las señales de control cíclicas ajustan el cabeceo de los diferentes álabes 104 de manera diferente dependiendo de la posición del álabes en la rotación. Para implementar los controles colectivos y los controles cíclicos, el conjunto 200 de rotor a modo de ejemplo incluye un plato 202 cíclico que se mueve hacia arriba y hacia abajo (por ejemplo, alejándose de y hacia un bastidor del helicóptero 100 de la figura 1) por medio de,

50 por ejemplo, uno o más accionadores hidráulicos u otro tipo de accionadores (no se muestran) controlados por las señales de control recibidas del operario del helicóptero 100. A medida que el plato 202 cíclico se mueve hacia arriba y hacia abajo, las uniones 204 de cabeceo acopladas al plato 202 cíclico se mueven hacia arriba y hacia abajo, de manera colectiva o cíclica según las señales de control recibidas. Cada una de las uniones 204 de cabeceo se acopla a uno respectivo de una pluralidad de brazos 206 de cabeceo. Cada uno de los brazos 206 de cabeceo convierte el movimiento hacia arriba y hacia debajo de la unión 204 de cabeceo 204 correspondiente en movimiento de rotación de un árbol de cabeceo (no se muestra en la figura 2) dispuesto en un cilindro 208 de buje. Por ejemplo, a medida que una de las uniones 204 de cabeceo se mueve hacia arriba, el brazo correspondiente de los brazos 206 de cabeceo hace rotar el árbol correspondiente de los árboles de cabeceo hacia arriba (por ejemplo, hacia la parte superior del helicóptero 100). Por el contrario, a medida que una de las uniones 204 de cabeceo se

- mueve hacia abajo, el brazo correspondiente de los brazos 206 de cabeceo hace rotar el árbol correspondiente de los árboles de cabeceo hacia abajo (por ejemplo, hacia la parte inferior del helicóptero 100). Puede realizarse el cabeceo de diferentes árboles de los árboles de cabeceo de la misma manera (por ejemplo, hacia arriba) simultáneamente (por ejemplo, en respuesta a entradas colectivas) o de manera diferente (por ejemplo, algunos hacia arriba y algunas hacia abajo) simultáneamente (por ejemplo, en respuesta a entradas cíclicas). Cada uno de los árboles de cabeceo de los cilindros 208 de buje está acoplado a un pie 210 de álabe por medio de una junta 212 de cola de milano y un elemento 214 de agarre de álabe. Como tal, se aplica el cabeceo de los árboles de cabeceo a los álabes 104. Por consiguiente, el plato 202 cíclico y los accionadores correspondientes que reciben órdenes procedentes del operario permiten que el helicóptero 100 realice el cabeceo, gire, y/o se traslade.
- 5 El conjunto 200 de rotor a modo de ejemplo de la figura 2 incluye un accionador 216 de giro para controlar un giro de cada álabe del conjunto 200 de rotor a modo de ejemplo. Concretamente, el accionador 216 de giro a modo de ejemplo de la figura 2 se coloca o ubica en un centro de rotación del conjunto 200 de rotor a modo de ejemplo de la figura 2. Esta ubicación del accionador 216 de giro corresponde a una posición G baja, especialmente con respecto a ubicaciones en el interior de los cilindros 208 de buje a modo de ejemplo, tal como en los sistemas conocidos.
- 10 Concretamente, el accionador 216 de giro a modo de ejemplo de la figura 2 controla el giro para todos los álabes, en lugar de implementar accionadores individuales para cada álabe 104, tal como en los sistemas conocidos. En el ejemplo ilustrado de la figura 2, el accionador 216 de giro incluye un motor eléctrico, un freno de motor, un sensor de retroalimentación de posición, y engranajes de reducción de velocidad de motor. Adicional o alternativamente, el accionador 216 de giro a modo de ejemplo puede incluir uno o más accionadores hidráulicos y/o cualquier otro tipo
- 15 adecuado de componente(s) de accionamiento y/o fuentes de par. El conjunto 200 de rotor a modo de ejemplo de la figura 2 incluye un estabilizador 218 de accionador de giro a través del que se monta el accionador 216 de giro a modo de ejemplo. Como tal, el accionador 216 de giro a modo de ejemplo está montado en el interior de un mástil de cabezal de rotor, lo que reduce una resistencia aerodinámica asociada con el accionador 216 de giro y protege los componentes del accionador 216 de giro frente a factores externos.
- 20 Tal como se describe en detalle a continuación en relación con las figuras 5-12, el accionador 216 de giro a modo de ejemplo acciona una rotación de un árbol de accionamiento de actuación alrededor de un primer eje 220. Aunque no siempre se corresponde con un eje estrictamente vertical debido a, por ejemplo, el movimiento del helicóptero 100, el primer eje 220 se denomina en el presente documento eje 220 vertical. Además, tal como se describe en detalle a continuación en relación con las figuras 5-12, el conjunto 200 de rotor a modo de ejemplo de la figura 2 incluye un conjunto de engranajes sesgado para convertir la rotación del árbol de accionamiento de actuación alrededor del eje 220 vertical en una pluralidad de rotaciones alrededor de segundos ejes, de una pluralidad de árboles de accionamiento portadores planetarios dispuesto cada uno en uno de los cilindros 208 de buje. Uno de los segundos ejes 222 se muestra en la figura 2. Aunque no siempre se corresponden con un eje estrictamente horizontal debido a, por ejemplo, el movimiento del helicóptero 100, los segundos ejes 222 se denominan en el presente documento
- 25 ejes 222 horizontales. Además, tal como se describe en detalle a continuación en relación con las figuras 5-12, cada uno de los árboles de accionamiento portadores planetarios individuales se acopla a un conjunto de engranajes dispuesto en uno respectivo de los cilindros 208 de buje y el elemento 214 de agarre de álabe correspondiente. Los conjuntos de engranaje proporcionan una reducción de velocidad de engranaje para un árbol de salida que se acopla a un árbol de torsión en los álabes 104. A medida que rota el árbol de salida según la entrada proporcionada por el accionador 216 de giro, el árbol de torsión hace girar los álabes 104. Por consiguiente, el accionador 216 de giro acciona el giro de cada uno de los álabes 104.
- 30 La figura 3 representa el conjunto 200 de rotor a modo de ejemplo de la figura 2 desde una perspectiva diferente. Tal como se muestra en la figura 3, el accionador 216 de giro se ubica de manera central en el conjunto 200 de rotor, colocando de ese modo el accionador 216 de giro es una ubicación de G baja en el conjunto 200 de rotor. El accionador 216 de giro proporciona par a cada uno de los árboles de torsión de los álabes 104 desde su ubicación central en el conjunto 200 de rotor. Aunque no se muestra en la figura 3, los extremos distales de los álabes 104 giran en respuesta al par proporcionado por el accionador 216 de giro debido a un tubo de par en el interior del pie 210 de álabe que se hace rotar en el elemento 214 de agarre de álabe. Por tanto, a medida que se hace rotar el tubo de par en el interior del pie 210 de álabe, el álabe 104 gira próximo a la punta para formar un perfil aerodinámico modificado. El ejemplo de la figura 3 ilustra una primera dirección 300 de rotación en la que se aplica el par al tubo de par en el interior del pie 210 de álabe. En algunos ejemplos, el par se aplica al tubo de par en el interior del pie 210 de álabe en una segunda dirección de rotación opuesta a la primera dirección 300 de rotación de la figura 3.
- 35 La figura 4 es una vista isométrica del conjunto 200 de rotor a modo de ejemplo las figuras 2 y 3. En el ejemplo de la figura 4, los pies 210 de álabe no se muestran en los elementos 214 de agarre de álabe. Como tal, en la figura 4 puede observarse una abertura 400 en el elemento 214 de agarre de álabe. Tal como se da a conocer en detalle a continuación, la abertura 400 recibe un árbol de salida de giro (no se muestra en la figura 4), que entra en contacto con un árbol de torsión dispuesto en el pie 210 de álabe.
- 40 La figura 5 es una vista en sección transversal parcial del conjunto 200 de rotor a modo de ejemplo que ilustra una manera a modo de ejemplo en la que el accionador 216 de giro acciona el giro del álabe 104. En el ejemplo de la figura 5, un árbol 500 de entrada de actuación se acciona mediante un motor del accionador 216 de giro (no se muestra). El motor del accionador 216 de giro es, por ejemplo, un motor a modo de ejemplo acoplado al árbol 500 de entrada de actuación. En el ejemplo de la figura 5, el árbol 500 de entrada de actuación se acopla a un árbol 502 de

accionamiento de actuación. Por tanto, el motor del accionador 216 de giro acciona la rotación del árbol 502 de accionamiento de actuación alrededor del eje 220 vertical.

En el ejemplo de la figura 5, el árbol 502 de accionamiento de actuación se acopla a un conjunto 504 de engranajes sesgado por medio de un acoplamiento 506 de diafragma. El acoplamiento 506 de diafragma a modo de ejemplo de la figura 5 permite que el motor del accionador 216 de giro sea independiente de los conjuntos de engranaje descritos a continuación, lo que mejora la capacidad de mantenimiento y protege el accionador 216 de giro y los conjuntos de engranaje frente a cargas de desalineación. Además, el acoplamiento 506 de diafragma de la figura 5 es flexible y está montado de manera interna dentro de un mástil de cabezal de rotor, protegiendo físicamente de ese modo los componentes del accionador 216 de giro y reduciendo el perfil de resistencia aerodinámica del conjunto 200 de rotor. Además, el ejemplo de la figura 5 incluye un perno 508 de precarga de acoplamiento para proporcionar compresión de precarga al acoplamiento 506 de diafragma para ampliar su vida útil y proteger el accionador 216 de giro frente a condiciones de sobrecarga.

En el ejemplo de la figura 5, el conjunto 504 de engranajes sesgado convierte la rotación del árbol 502 de accionamiento de actuación alrededor del eje 220 vertical en rotación de un árbol 510 de accionamiento portador planetario alrededor del eje 222 horizontal. En el ejemplo de la figura 5, el conjunto 504 de engranajes sesgado incluye una corona 512 dentada y un cojinete 514 de bolas de engranaje de reducción de velocidad. La corona 512 dentada es concéntrica con el árbol 502 de accionamiento de actuación y rota junto con el árbol 502 de accionamiento de actuación alrededor del eje 220 vertical. La corona 512 dentada tiene una primera cara 516 dentada que forma un ángulo (por ejemplo, con respecto al eje 220 vertical). El conjunto 504 de engranajes sesgado a modo de ejemplo incluye una pluralidad de engranajes 518 de piñón, un para cada uno de los cilindros 208 de buje. Cada uno de los engranajes 518 de piñón corresponde a y discurre alrededor del conjunto 200 de rotor en el interior de una carcasa 519 de buje. Cada uno de los engranajes 518 de piñón se retiene de manera céntrica en el interior de una carcasa 519 de buje. Cada uno de los árboles 510 de accionamiento portadores planetarios se retiene en los cilindros 208 de buje respectivos por medio de un cojinete 520 elastomérico que requiere que el árbol 510 de accionamiento portador planetario se deslice en el interior del engranaje 518 de piñón al tiempo que experimenta las fuerzas centrífugas asociadas con el conjunto 200 de rotor. En particular, las deflexiones de cojinete procedentes de elevadas cargas centrífugas de álabe de rotor pueden provocar el movimiento de los árboles 510 de accionamiento portadores planetarios durante, por ejemplo, inicio y apagado. En el ejemplo ilustrado de la figura 5, la retención de los engranajes 518 de piñón por medio de la carcasa 519 de buje impide que tal movimiento afecte al engranaje de piñón con la corona 512 dentada. En particular, el cojinete 520 elastomérico recibe las fuerzas centrífugas y mantiene la posición de los árboles 510 portadores planetarios, así como los álabes 104, en los cilindros 208 de buje.

Cada uno de los engranajes 518 de piñón tiene una segunda cara 522 dentada para engranarse con la primera cara 516 dentada de la corona 512 dentada. La segunda cara 522 dentada de los engranajes 518 de piñón forma un ángulo (por ejemplo, con respecto al eje 220 vertical). Es decir, los dientes de la corona 512 dentada se engranan con los dientes de los engranajes 518 de piñón a medida que el árbol 502 de accionamiento de actuación rota alrededor del eje 220 vertical. Por consiguiente, en el ejemplo de la figura 5, la rotación de la corona 512 dentada, por medio de su acoplamiento con el árbol 502 de accionamiento de actuación, acciona una rotación de los engranajes 518 de piñón alrededor de los ejes 222 horizontales respectivos. Se observa que el eje 222 horizontal para cada uno de los engranajes 518 de piñón no se mueve con una rotación de cabeceo, sino que se mueve con los álabes 104 alrededor del conjunto 200 de rotor. Sin embargo, la rotación de los engranajes 518 de piñón es sustancialmente de manera continua (por ejemplo, en un umbral) perpendicular al eje 220 vertical.

Para cada uno de los engranajes 518 de piñón, el correspondiente árbol 510 portador planetario se extiende desde el engranaje 518 de piñón de manera que la rotación del árbol 510 portador planetario alrededor del eje 222 horizontal corresponde a la rotación del engranaje 518 de piñón. En el ejemplo de la figura 5, el árbol 510 portador planetario se extiende a través de un árbol 523 de cabeceo que se acopla al brazo correspondiente de los brazos 206 de cabeceo (no se muestran en la figura 5). Concretamente, el árbol 510 portador planetario rota de manera independiente del árbol 523 de cabeceo, separando de ese modo el giro que acciona en rotación el árbol 510 portador planetario de la rotación de accionamiento de cabeceo del árbol 523 de cabeceo. Por tanto, la corona 512 dentada rota en respuesta a una entrada procedente del accionador 216 de giro, el árbol 510 portador planetario rota alrededor del eje 222 horizontal. Por tanto, a medida que el árbol 502 de accionamiento de actuación rota alrededor del eje 220 vertical, la primera cara 516 dentada de la corona 512 dentada se engrana con cada una de las segundas caras 522 dentadas de los engranajes 518 de piñón, provocando de ese modo la rotación del árbol 510 de accionamiento portador planetario alrededor del eje 222 horizontal. Por tanto, el accionador 216 de giro, por medio del árbol 502 de accionamiento de actuación y el conjunto 504 de engranajes sesgado, provoca que el árbol 510 de accionamiento portador planetario rote alrededor del eje 222 horizontal.

El conjunto 504 de engranajes sesgado a modo de ejemplo es un diseño de diente recto que genera cargas similares en diferentes direcciones de rotación alrededor del eje 222 horizontal. En el ejemplo ilustrado de la figura 5, la relación de transmisión del conjunto 504 de engranajes sesgado genera un aumento de velocidad del árbol 510 de accionamiento portador planetario de aproximadamente el cincuenta (50) por ciento para permitir el uso de los múltiples engranajes 518 de piñón (por ejemplo, uno para cada álabe 104 de rotor que se acciona por el accionador 216 de giro) emparejados con la única corona 512 dentada. Por consiguiente, el conjunto 200 de rotor a modo de

ejemplo de la figura 5 distribuye la energía proporcionada por el accionador 216 de giro a cada álabe 104 de rotor desde la central ubicación del accionador 216 de giro.

Adicionalmente, el conjunto 200 de rotor a modo de ejemplo de la figura 5 incluye un conjunto 524 de reducción de engranaje. El conjunto 524 de reducción de engranaje a modo de ejemplo de la figura 5 se describe en detalle a continuación en relación con las figuras 6-10. La vista del conjunto 524 de reducción de engranaje de la figura 5 se reproduce en la figura 10 por motivos de claridad. Generalmente, el conjunto 524 de reducción de engranaje a modo de ejemplo recibe una primera cantidad de par alrededor del eje 222 horizontal desde el árbol 510 portador planetario y emite una segunda cantidad de par alrededor del eje 222 horizontal en un árbol 526 de salida. El árbol 526 de salida está conectado a un árbol de torsión ubicado en el pie 210 de álabe. Por tanto, el conjunto 524 de reducción de engranaje facilita el suministro de par desde el engranaje 518 de piñón, que se acciona mediante el accionador 216 de giro a modo de ejemplo, hasta el árbol de torsión ubicado en el pie 210 de álabe. Tal como se describe en detalle a continuación, al suministrar el par al árbol 526 de salida, el conjunto 524 de reducción de engranaje a modo de ejemplo logra una relación de reducción de velocidad de engranaje que amplifica el par proporcionado por el accionador 216 de giro a modo de ejemplo para reducir el requisito de par y/o el tamaño del accionador 216 de giro.

La figura 6 es una vista isométrica de una implementación del conjunto 524 de reducción de engranaje de la figura 5 construido según enseñanzas de esta divulgación. La figura 7 es una vista en despiece ordenado del conjunto 524 de reducción de engranaje a modo de ejemplo de la figura 6. El conjunto 524 de reducción de engranaje a modo de ejemplo de la figura 6 incluye un portador 600 planetario que porta un sistema 602 de engranaje planetario de primera etapa y un sistema 604 de engranaje planetario de segunda etapa. El sistema 602 de engranaje planetario de primera etapa se aloja (al menos parcialmente) en el árbol 523 de cabeceo. El sistema 604 de engranaje planetario de segunda etapa se aloja (al menos parcialmente) en el elemento 214 de agarre de álabe en el exterior del árbol 523 de cabeceo. El sistema 602 de engranaje planetario de primera etapa tiene un piñón 700 central de primera etapa (figura 7) y engranajes 702 planetarios de primera etapa (figura 7). En el ejemplo ilustrado, el sistema 602 de engranaje planetario de primera etapa incluye cinco (5) engranajes 702 planetarios de primera etapa. Sin embargo, el sistema 602 de engranaje planetario de primera etapa puede incluir un número alternativo de engranajes 702 planetarios de primera etapa. El sistema 604 de engranaje planetario de segunda etapa tiene un piñón 704 central de segunda etapa (figura 7) y engranajes 706 planetarios de segunda etapa (figura 7). En el ejemplo ilustrado, el sistema 604 de engranaje planetario de segunda etapa incluye cinco (5) engranajes 706 planetarios de segunda etapa. Sin embargo, el sistema 604 de engranaje planetario de segunda etapa puede incluir un número alternativo de engranajes 704 planetarios de segunda etapa.

Tal como se describió anteriormente, el accionador 216 de giro acciona una rotación del árbol 510 de accionamiento portador planetario cuando el álabe va a girarse. El portador 600 planetario a modo de ejemplo se une mediante chavetas al árbol 510 de accionamiento portador planetario de manera que a medida que rota el árbol 510 de accionamiento portador planetario, también rota el portador 600 planetario. En el ejemplo de las figuras 6 y 7, el portador 600 planetario se acopla a un primer conjunto 610 de tapa que acopla al árbol 510 de accionamiento portador planetario. Tal como se muestra en la figura 7, el primer conjunto 610 de tapa incluye una pluralidad de orificios 708 (figura 7), recibiendo cada uno un extremo 710 (figura 7) de uno de una pluralidad de árboles 712 planetarios (figura 7). Es decir, los extremos 710 de los árboles 712 planetarios se colocan en los orificios 708 del primer conjunto 610 de tapa, que se acopla al portador 600 planetario. Como tal, la rotación del árbol 510 de accionamiento portador planetario alrededor del eje 222 horizontal provoca que el primer conjunto 610 de tapa y el portador 600 planetario roten alrededor del eje 222 horizontal. Además, la rotación del portador 600 planetario y el primer conjunto 610 de tapa provoca que los engranajes 702 planetarios de primera etapa atraviesen, en conjunto, alrededor del eje 222 horizontal.

Los engranajes 702 planetarios de primera etapa se engranan con el piñón 700 central de primera etapa. El primer piñón 700 central se fija con respecto a los engranajes 702 planetarios de primera etapa. En particular, el piñón 700 central de primera etapa se fija al árbol 523 de cabeceo del conjunto 200 de rotor por medio de un árbol 612 de montaje. Tal como se describió anteriormente en relación con la figura 5, el árbol 510 de accionamiento portador planetario se extiende a través del árbol 523 de cabeceo y a través del árbol 612 de montaje, que se fija al árbol 523 de cabeceo. Por tanto, el árbol 510 de accionamiento portador planetario rota dentro del árbol 612 de montaje, que se fija al piñón 700 central de primera etapa. Como tal, cuando el árbol 510 de accionamiento portador planetario hace rotar el portador 600 planetario, los engranajes 702 planetarios de primera etapa se engranan con y rotan alrededor de (en conjunto) el piñón 700 central de primera etapa.

En el ejemplo ilustrado, la relación entre el piñón 700 central de primera etapa y los engranajes 702 planetarios de primera etapa es uno (1) con respecto a uno (1). Sin embargo, son posibles relaciones alternativas para lograr diferente(s) reducción/reducciones. La rotación de los engranajes 702 planetarios de primera etapa provoca la rotación de los árboles 712 planetarios, en los que están montados los engranajes 702 planetarios de primera etapa. Los engranajes 706 planetarios de segunda etapa también están montados en los árboles 712 planetarios. Por tanto, la rotación de los engranajes 702 planetarios de primera etapa acciona una rotación de los árboles 712 planetarios, lo que provoca que los engranajes 706 planetarios de segunda etapa roten, en conjunto, alrededor del eje 222 horizontal. Los engranajes 706 planetarios de segunda etapa se engranan con el piñón 704 central de segunda etapa. La rotación de los engranajes 706 planetarios de segunda etapa, a medida que se engranan con el

piñón 704 central de segunda etapa, provoca que el piñón 704 central de segunda etapa rote alrededor de su eje (es decir, el eje 222 horizontal). En el ejemplo ilustrado, la relación entre los engranajes 706 planetarios de segunda etapa y el piñón 704 central de segunda etapa es siete (7) con respecto a ocho (8). Sin embargo, son posibles relaciones alternativas para lograr diferente(s) reducción/reducciones.

5 El piñón 704 central de segunda etapa se acopla al árbol 526 de salida de manera que la rotación del piñón 704 central de segunda etapa provoca que el árbol 526 de salida rote alrededor del eje 222 horizontal. Por tanto, el árbol 526 de salida rota según la rotación del piñón 704 central de segunda etapa. El árbol 526 de salida se extiende a través de un segundo conjunto 614 de tapa. Tal como se describió anteriormente, el árbol 526 de salida se acopla al tubo de par de giro de álabe (no se muestra) por medio de la abertura 400 (figura 4) en el elemento 214 de agarre de álabe. Como tal, la rotación del árbol 526 de salida aplica par al tubo de par de giro de álabe (no se muestra).

10 Por tanto, el conjunto 524 de reducción de engranaje a modo de ejemplo facilita el suministro de par desde el árbol 510 de accionamiento portador planetario, que se acciona mediante el accionador 216 de giro a modo de ejemplo, hasta el tubo de par de giro de álabe. En particular, el árbol 510 de accionamiento portador planetario acciona la rotación del portador 600 planetario, que acciona los sistemas 602, 604 de engranaje planetario primero y segundo, que actúan conjuntamente para hacer rotar el árbol 526 de salida al tiempo que proporcionan una reducción de velocidad de engranaje. En el ejemplo ilustrado, la interacción de funcionamiento del portador 600 planetario y los sistemas 602, 604 de engranaje planetario da como resultado una relación de reducción de velocidad de engranaje de ocho (8) con respecto a (1). Tal como se describió anteriormente, una relación de reducción de velocidad de engranaje de este tipo se logra por medio de una relación de uno (1) con respecto a uno (1) entre el piñón 700 central de primera etapa y los engranajes 702 planetarios de primera etapa, y una relación de siete (7) con respecto a ocho (8) entre los engranajes 706 planetarios de segunda etapa y el piñón 704 central de segunda etapa. Son posibles relaciones de reducción de velocidad de engranaje alternativas con relaciones alternativas entre los engranajes 702 planetarios de primera etapa y el piñón 700 central de primera etapa y/o entre los engranajes 706 planetarios de segunda etapa y el piñón 704 central de segunda etapa. La reducción de velocidad de engranaje proporcionada por los conjuntos 524 de engranaje a modo de ejemplo amplifica el par proporcionado por el accionador 216 de giro a modo de ejemplo para reducir el requisito de par y/o el tamaño del accionador 216 de giro. En algunos ejemplos, la relación de reducción de velocidad de engranaje incluye una contribución de aumento de velocidad procedente de los conjuntos 504 de engranaje sesgado.

15 La figura 8 representa una implementación a modo de ejemplo del sistema 602 de engranaje planetario de primera etapa a modo de ejemplo y el portador 600 planetario a modo de ejemplo. En el ejemplo de la figura 8, cada uno de los engranajes 702 planetarios de primera etapa tiene quince (15) dientes. En el ejemplo de la figura 8, el piñón 700 central de primera etapa tiene quince (15) dientes. Como tal, la relación proporcionada por el sistema 602 de engranaje planetario de primera etapa a modo de ejemplo es uno (1) con respecto a uno (1). Tal como se describió anteriormente, el árbol 510 de accionamiento portador planetario (que se acciona mediante el accionador 216 de giro a modo de ejemplo) acciona la rotación del portador 600 planetario y los engranajes 702 planetarios de primera etapa alrededor del piñón 700 central de primera etapa. Como resultado, los engranajes 702 planetarios de primera etapa accionan la rotación de los árboles 712 planetarios en los que están montados los engranajes 702 planetarios de primera etapa.

20 La figura 9 representa una implementación a modo de ejemplo del sistema 604 de engranaje planetario de segunda etapa a modo de ejemplo y el portador 600 planetario a modo de ejemplo. En el ejemplo de la figura 9, los árboles 712 planetarios, a medida que se accionan mediante la rotación de los engranajes 702 planetarios de primera etapa, provocan que los engranajes 706 planetarios de segunda etapa se engranen con el piñón 704 central de segunda etapa. En el ejemplo de la figura 9, los engranajes 706 planetarios de segunda etapa tienen catorce (14) dientes. En el ejemplo de la figura 9, el piñón 704 central de segunda etapa tiene dieciséis (16) dientes. Como tal, la relación proporcionada por el sistema 530 planetario de primera etapa a modo de ejemplo es siete (7) con respecto a ocho (8). El engrane de los engranajes 706 planetarios de segunda etapa con el piñón 704 central de segunda etapa provoca que el piñón 704 central de segunda etapa rote alrededor de su eje, proporcionando de ese modo par al árbol 526 de salida al que se acopla el piñón 704 central de segunda etapa. Cuando la reducción a modo de ejemplo proporcionada por el sistema 602 de engranaje planetario de primera etapa y la reducción proporcionada por el sistema 604 de engranaje planetario de segunda etapa se combinan, la relación de reducción lograda es ocho (8) con respecto a uno (1). Por consiguiente, el conjunto 524 de reducción de engranaje a modo de ejemplo reduce el par requerido del accionador 216 de giro para proporcionar una cantidad adecuada de par al árbol 526 de salida.

25 La figura 10 es una versión ampliada de la vista en sección transversal del conjunto 524 de reducción de engranaje a modo de ejemplo de la figura 5. Tal como se describió anteriormente, el árbol 510 de accionamiento portador planetario se extiende a través del árbol 612 de montaje, que se fija al árbol 523 de cabeceo. El árbol 612 de montaje se acopla al piñón 700 central de primera etapa, fijando de ese modo el piñón 700 central de primera etapa al árbol 523 de cabeceo. Tal como se describió anteriormente, el árbol 510 de accionamiento portador planetario se acopla al portador 600 planetario de manera que la rotación del árbol 510 de accionamiento portador planetario acciona la rotación del portador 600 planetario. Tal como se describió anteriormente, el portador 600 planetario aloja el piñón 700 central de primera etapa y los engranajes 702 planetarios de primera etapa. Adicionalmente, tal como se describió anteriormente, el portador 600 planetario aloja el piñón 704 central de segunda etapa y los engranajes 706 planetarios de segunda etapa. Además, tal como se describió anteriormente, los engranajes 702 planetarios de

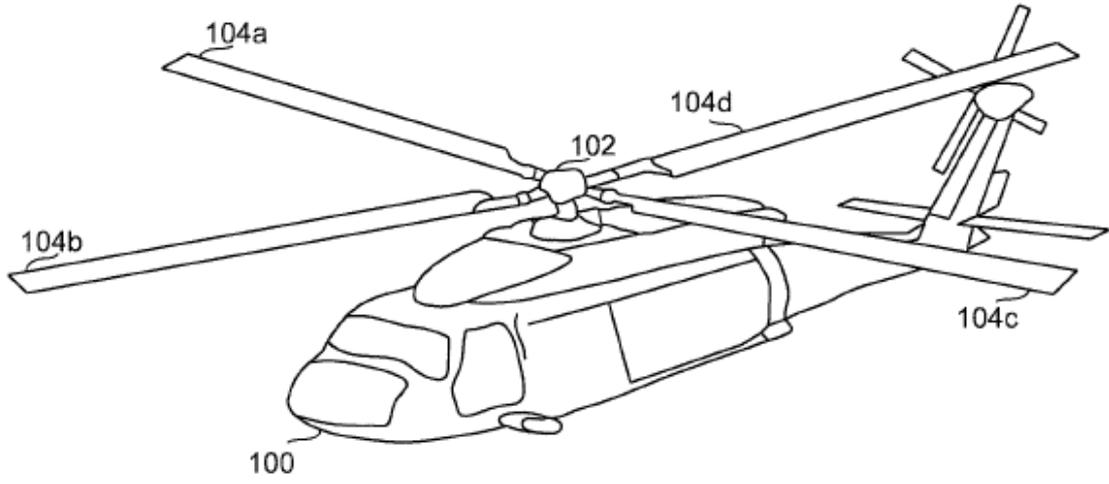
primera etapa y los engranajes 706 planetarios de segunda etapa están montados en los árboles 712 planetarios. Los sistemas 602, 604 de engranaje planetario primero y segundo aumentan y suministran el par proporcionado por el árbol 510 de accionamiento portador planetario al árbol 526 de salida por medio de un acoplamiento entre el piñón 704 central de segunda etapa y el árbol 526 de salida.

- 5 La figura 11 es una vista en planta parcial del conjunto 200 de rotor a modo de ejemplo. Tal como se muestra en la figura 11, una pluralidad de cojinetes 1100 de rodillos se disponen entre el árbol 523 de cabeceo y el cilindro 208 de buje. Los cojinetes 1100 de rodillos permiten que el árbol 523 de cabeceo, que se ha realizado su cabeceo hacia arriba y hacia abajo mediante el brazo 206 de cabeceo, roten dentro del cilindro 208 de buje. Sin embargo, dado que el piñón 700 central de primera etapa se fija al árbol 523 de cabeceo y el árbol 523 de cabeceo se acopla al brazo 10 206 de cabeceo, el cambio de cabeceo de los álabes 104 de rotor puede provocar pequeños cambios en el giro de los álabes 104. En algunos ejemplos, estos pequeños cambios de giro pueden considerarse errores. Por ejemplo, en algunos sistemas, un error de uno (1) grado en el piñón 704 central de segunda etapa puede dar como resultado ocho (8) grados de ángulo de cabeceo de álabe del árbol 1000 de cabeceo. Sin embargo, la reducción proporcionada por el conjunto 524 de reducción de engranaje a modo de ejemplo acoplado al tubo de par de giro de álabe (no se muestra) reduce significativamente el posible error en el giro de álabe en tales situaciones. En particular, la reducción proporcionada por el conjunto 524 de reducción de engranaje acoplado al tubo de par de giro de álabe permite diez (10) grados de rotación del piñón 704 central de segunda etapa para dar como resultado un (1) grado de giro de álabe debido al enrollado del tubo de par, también reduciendo de ese modo cualquier posible error de giro. En particular, el ejemplo ilustrado que incluye el tubo de par reduce el anterior error a modo de ejemplo 20 de uno (1) a ocho (8) hasta 0,1 (o un décimo) de giro de álabe para cada ocho grados de cabeceo de álabe. Para cabeceo constante de álabe de rotor, el error puede eliminarse agitando el accionador 216 de giro para lograr un ajuste de giro apropiado. Para cabeceo cíclico u oscilante de álabe de rotor, el error puede reducirse adicionalmente con engranajes planetarios y centrales que tienen un mayor número de dientes. Por ejemplo, si el número de dientes de engranaje se dobla, el error se dividirá a la mitad.
- 25 La figura 12 es una vista isométrica del conjunto 200 de rotor a modo de ejemplo tal como se describió anteriormente en relación con las figuras 2-11.

Aunque se han dado a conocer determinados métodos, aparato y artículos de fabricación a modo de ejemplo en el presente documento, el alcance de cobertura de esta patente no se limita a los mismos. Por el contrario, esta patente cubre todo el contenido que se encuentra dentro del alcance de las reivindicaciones de esta patente.

**REIVINDICACIONES**

1. Conjunto de rotor, que comprende:
  - 5 un accionador (216) de giro configurado para accionar una primera rotación de un árbol (502) de accionamiento alrededor de un primer eje (220), estando el accionador (216) de giro colocado en un centro de rotación del conjunto (200) de rotor; y
  - un primer conjunto (504) de engranajes para convertir la primera rotación en una pluralidad de segundas rotaciones de una pluralidad de segundos árboles (510), proporcionando cada uno de los segundos árboles par a un álabe respectivo acoplado al conjunto (200) de rotor;
  - 10 comprendiendo además el conjunto de rotor árboles (523) de cabeceo; estando el conjunto de rotor caracterizado por:
    - portadores (600) de engranajes planetarios, estando cada portador acoplado a uno respectivo de los segundos árboles;
    - un sistema (602) de engranaje planetario de primera etapa dispuesto en cada uno de los portadores;
    - un sistema (604) de engranaje planetario de segunda etapa dispuesto en cada uno de los portadores; y
    - 15 un árbol (526) de salida acoplado a cada uno de los sistemas de engranaje planetario de segunda etapa para proporcionar el par a álabes respectivos de los álabes; y
    - estando un piñón (700) central de los sistemas (602) de engranaje planetario de primera etapa acoplado a uno respectivo de los árboles de cabeceo.
- 20 2. Conjunto de rotor según la reivindicación 1, en el que el primer conjunto de engranajes comprende una corona (512) dentada y engranajes (518) de piñón, extendiéndose cada uno de los segundos árboles desde engranajes respectivos de los engranajes de piñón.
3. Conjunto de rotor según la reivindicación 2, en el que la corona (512) dentada se acopla al árbol (502) de accionamiento por medio de un acoplamiento (506) de diafragma.
- 25 4. Conjunto de rotor según la reivindicación 2 o 3, en el que la corona (512) dentada comprende primeros dientes que forman un ángulo con respecto al primer eje (220), y cada uno de los engranajes de piñón comprende segundos dientes que forman un ángulo con respecto al primer eje (220).
5. Conjunto de rotor según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el primer eje (220) es diferente de cada uno de una pluralidad de segundos ejes correspondientes a árboles respectivos de los segundos árboles.
- 30 6. Conjunto de rotor según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el par se aplica a un árbol de torsión de los álabes respectivos para provocar el giro de los álabes respectivos.



**FIG. 1**

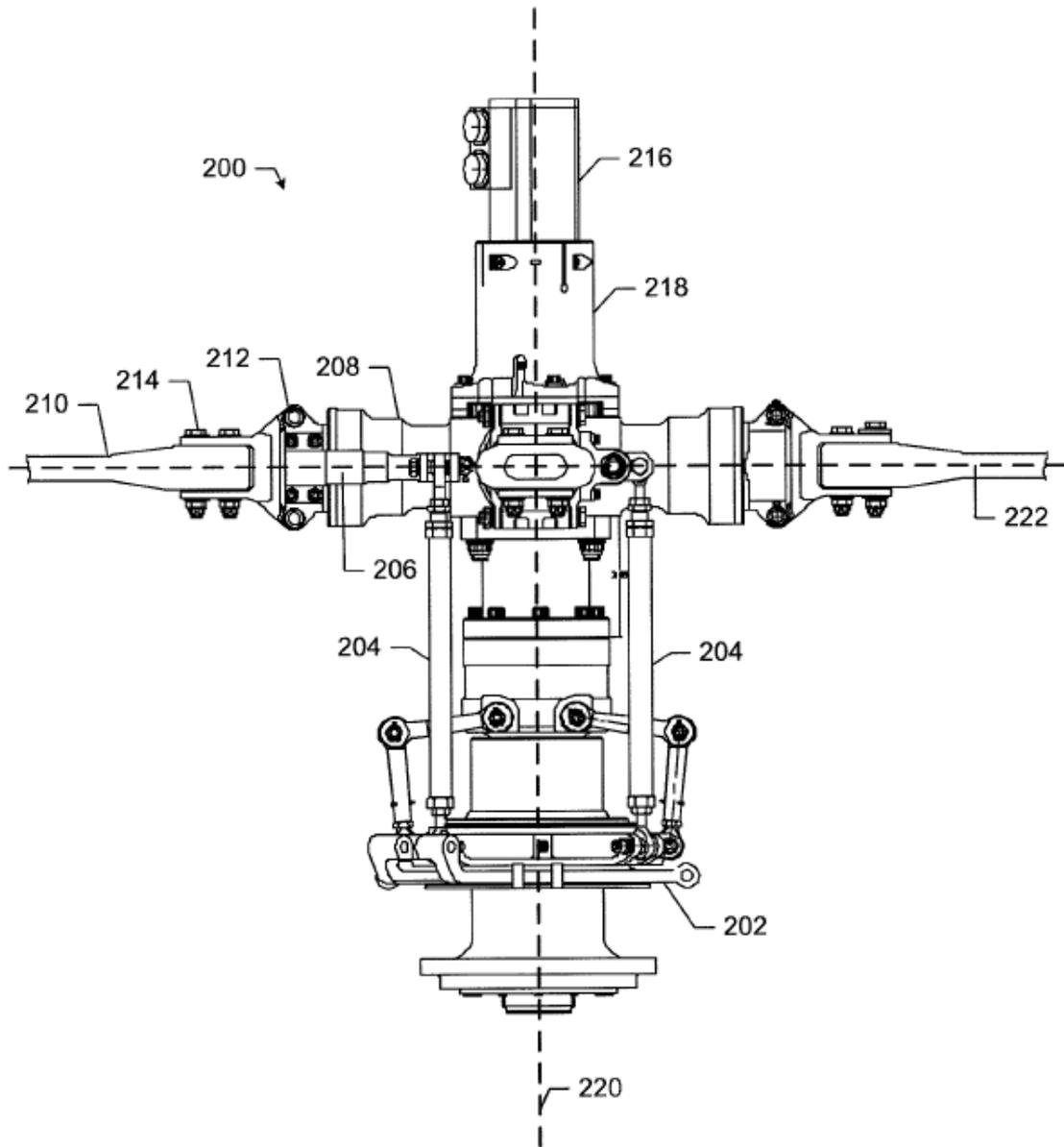
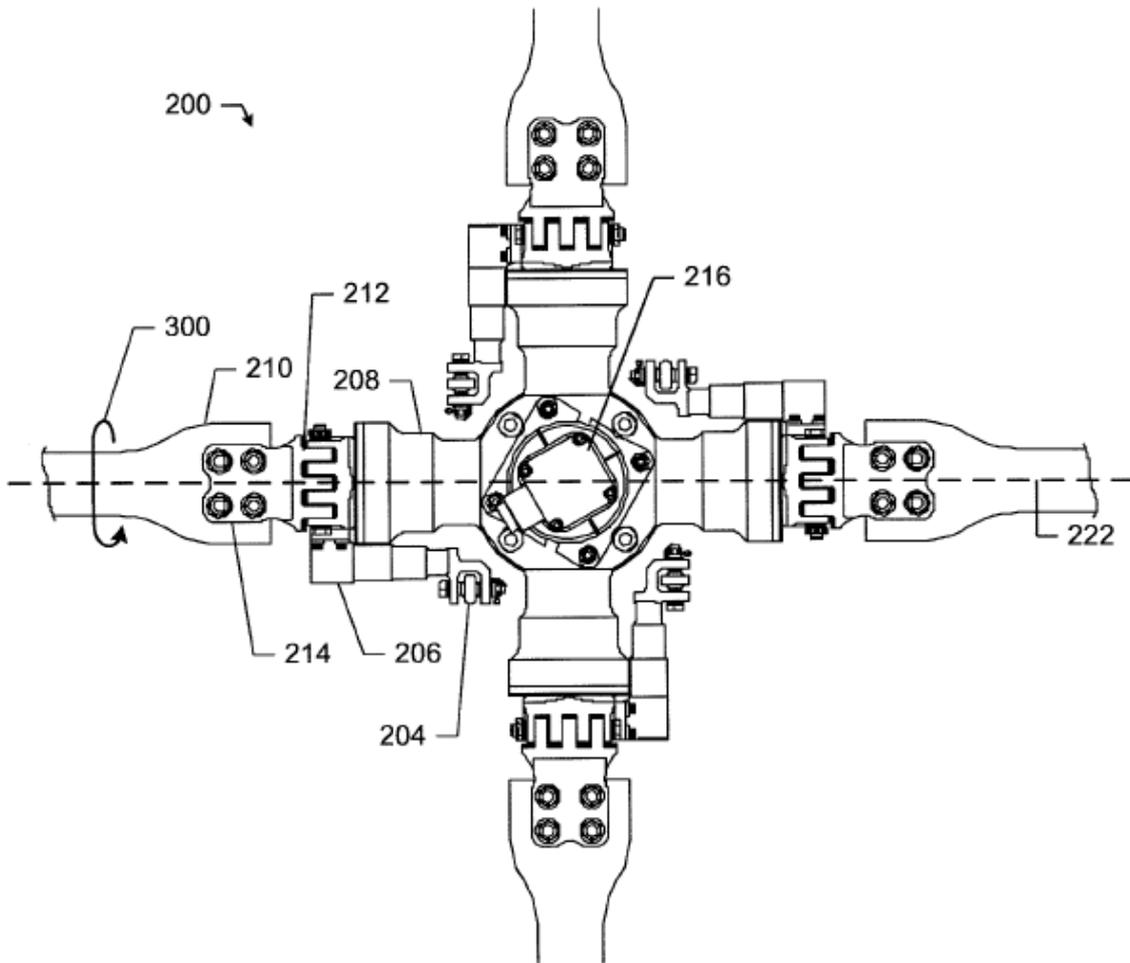


FIG. 2



**FIG. 3**

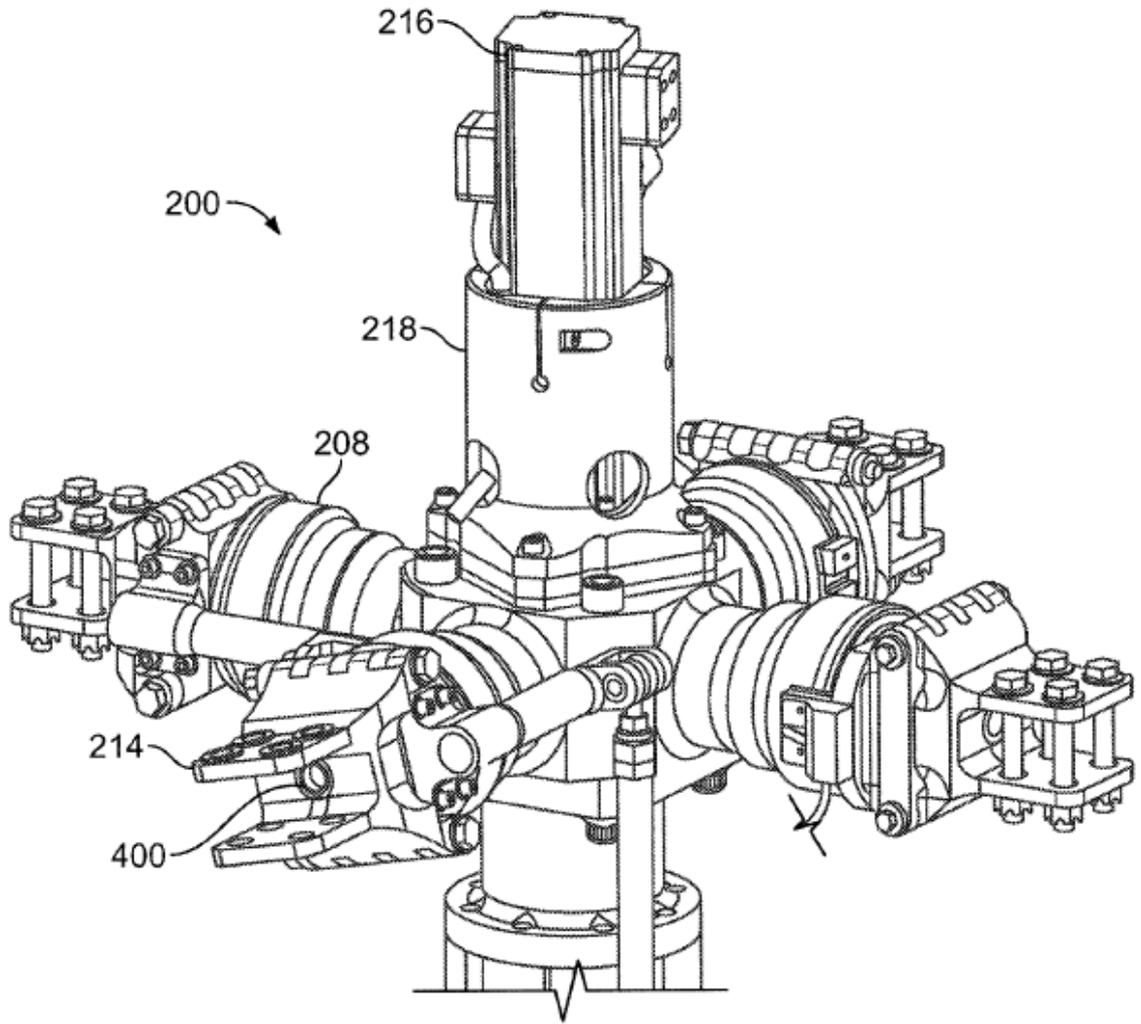


FIG. 4

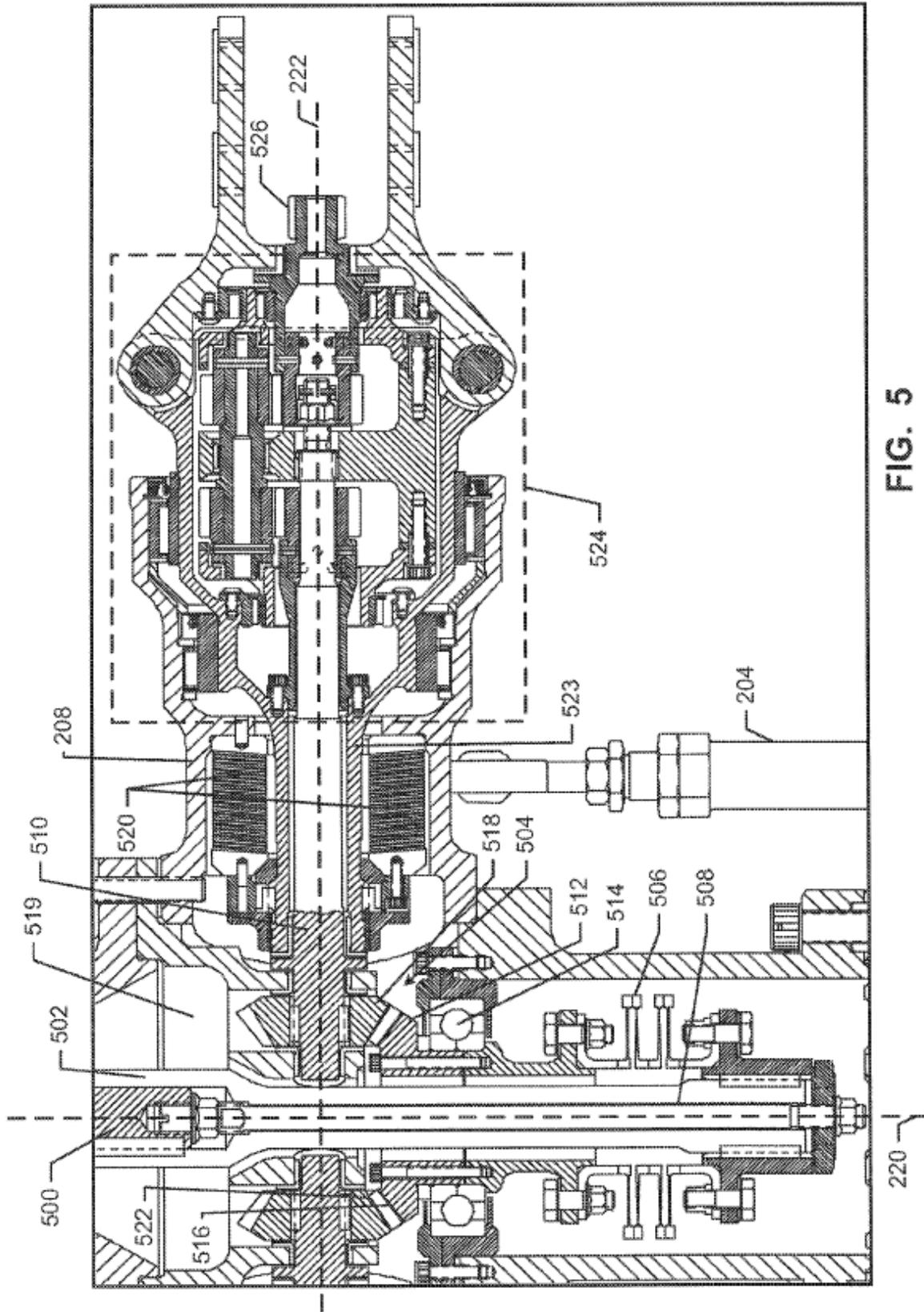


FIG. 5

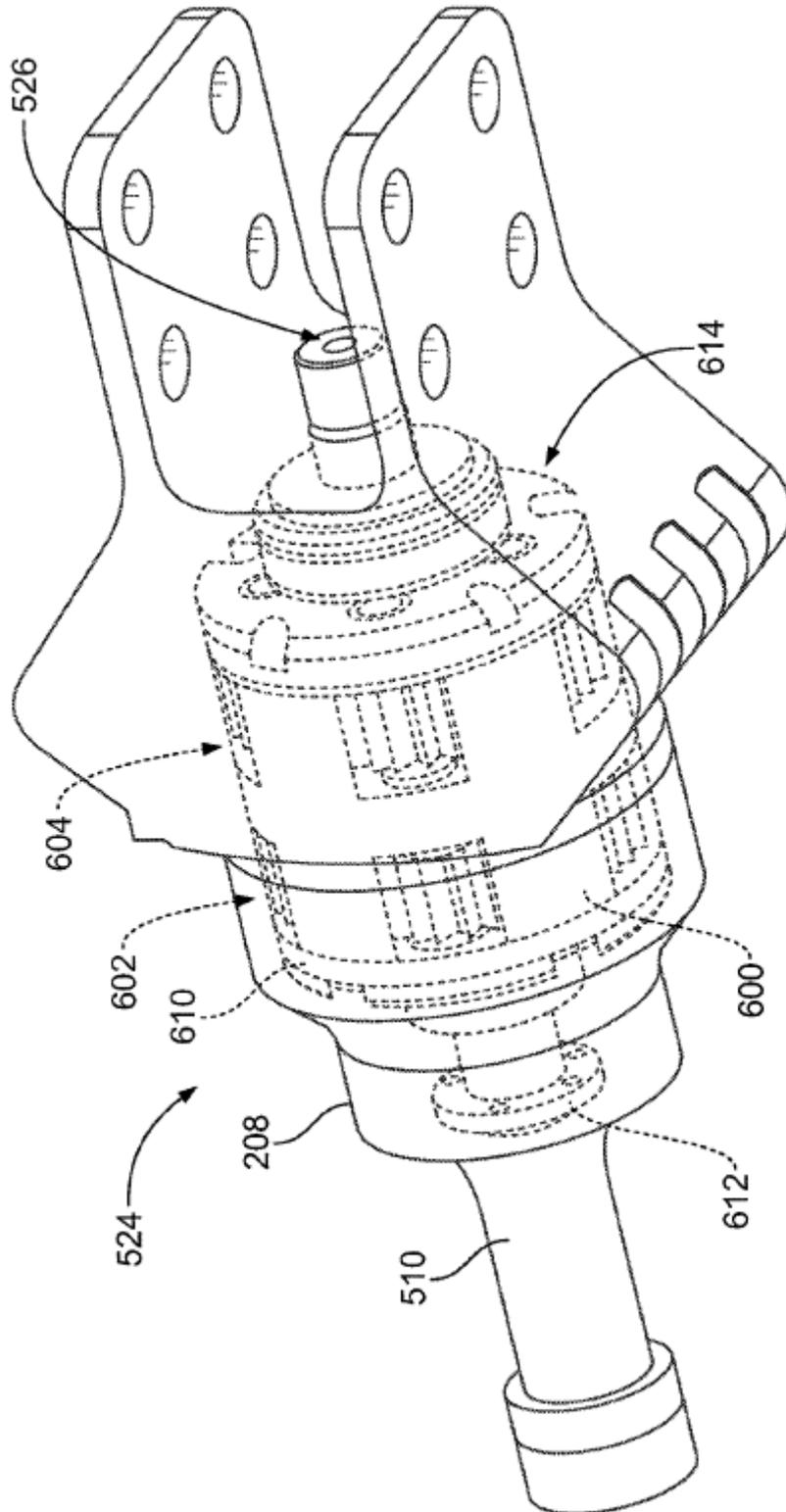


FIG. 6

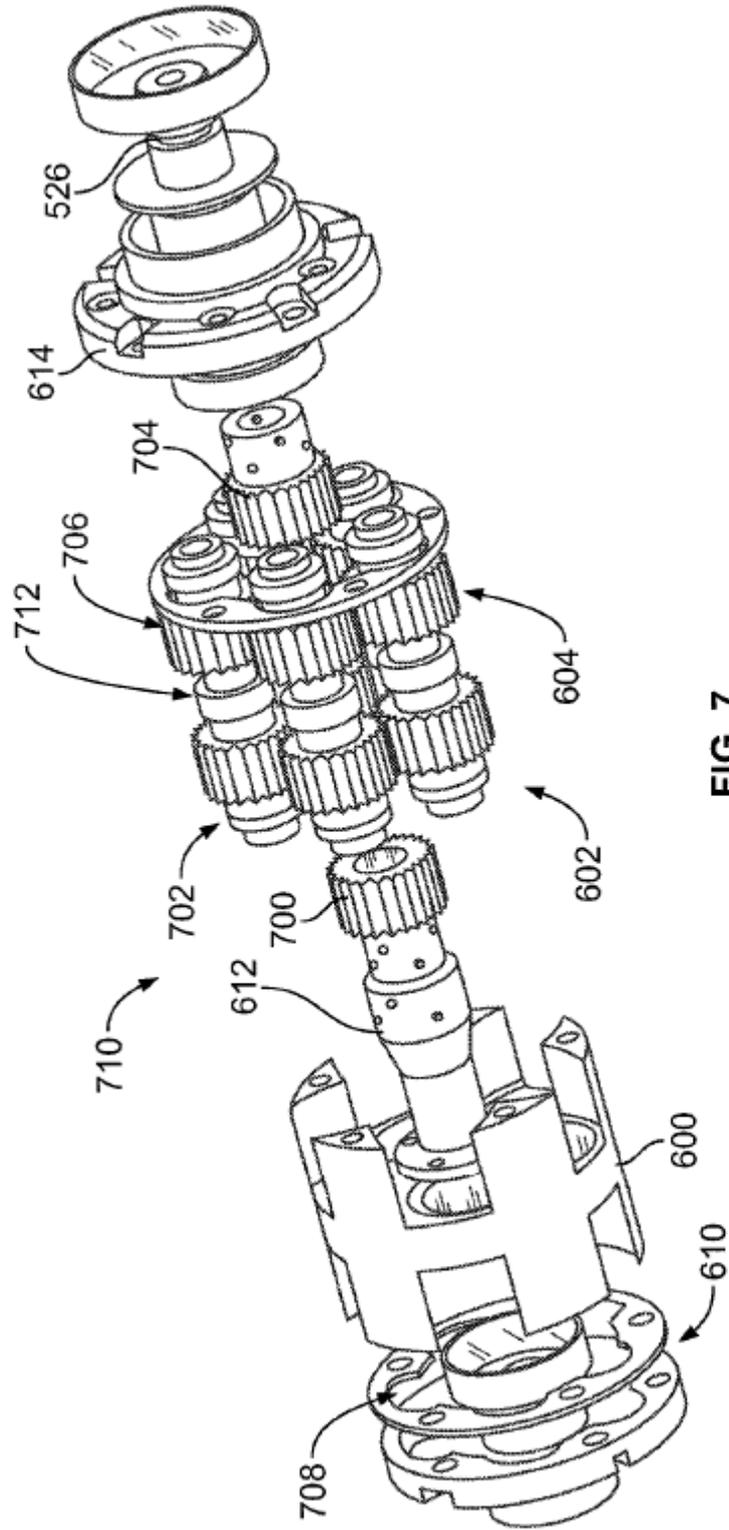


FIG. 7

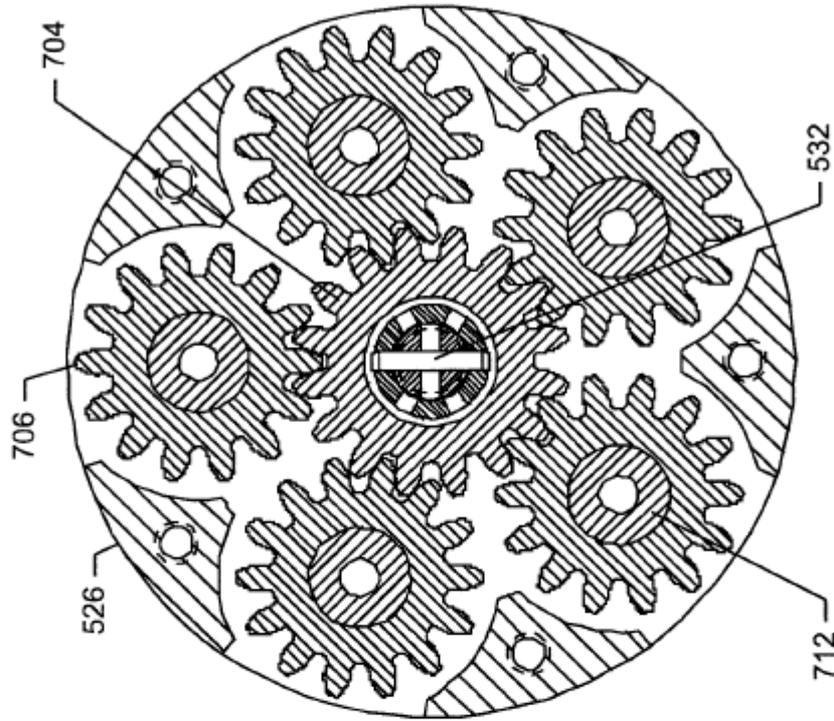


FIG. 9

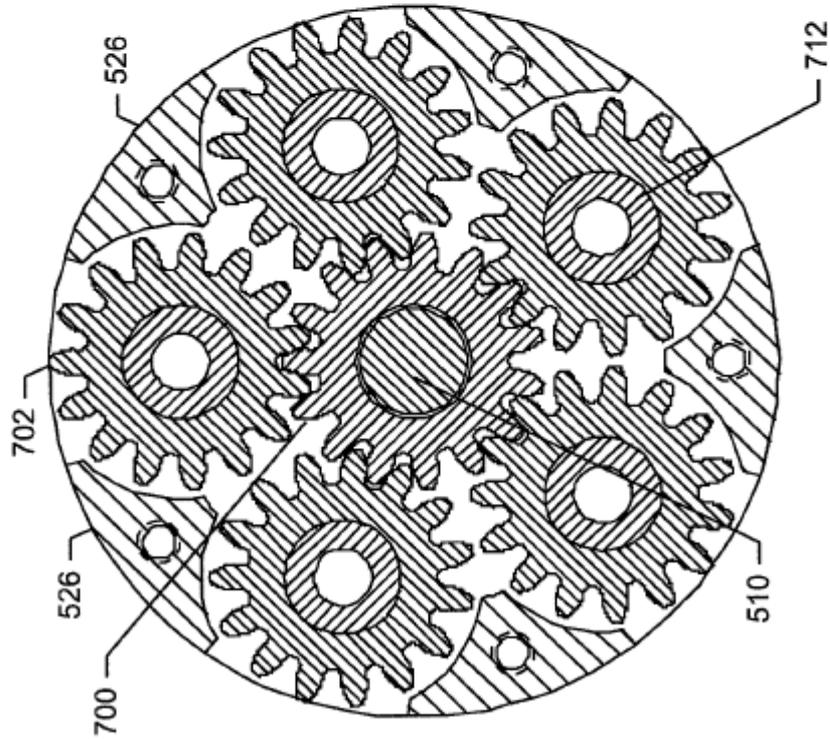


FIG. 8

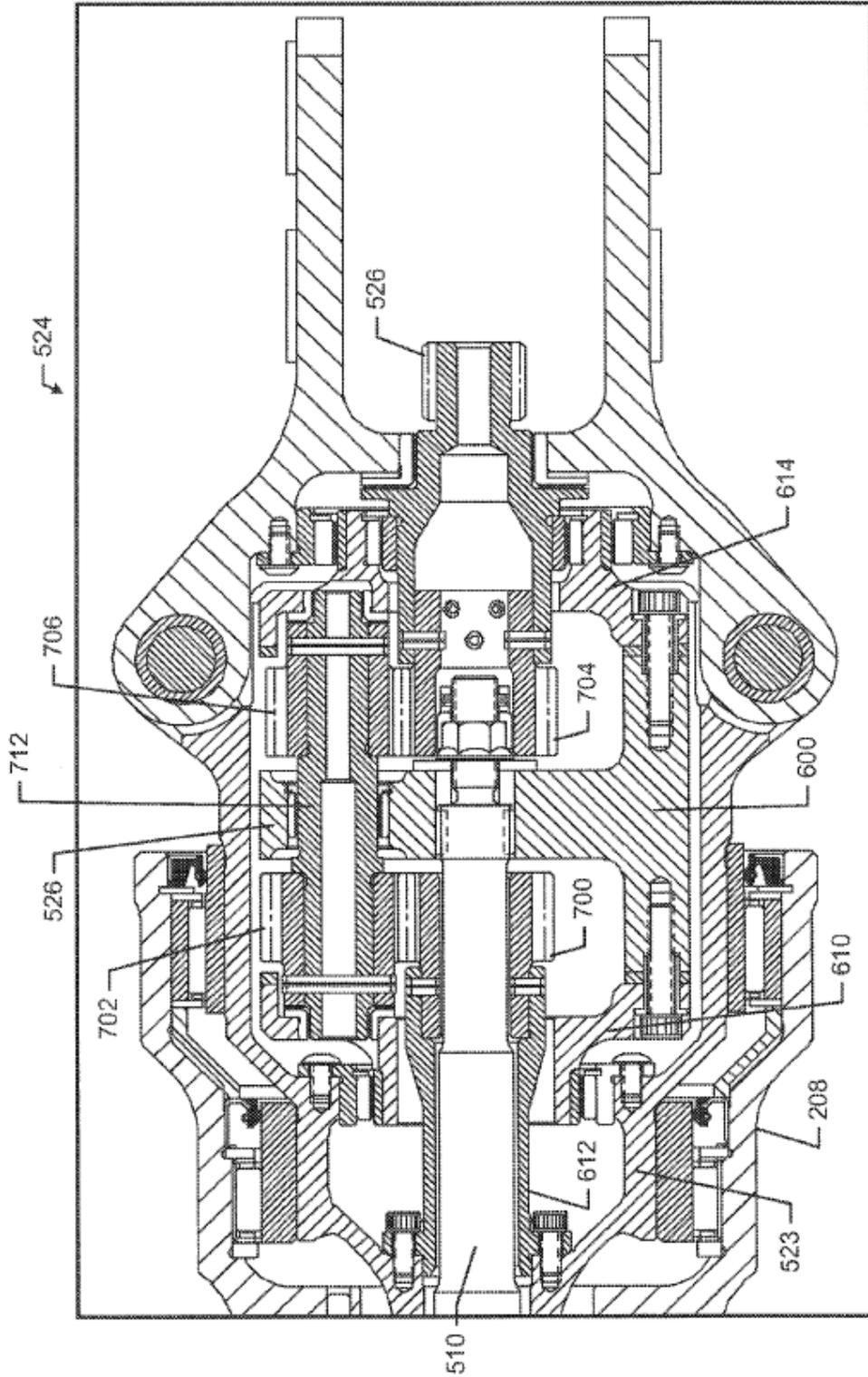


FIG. 10

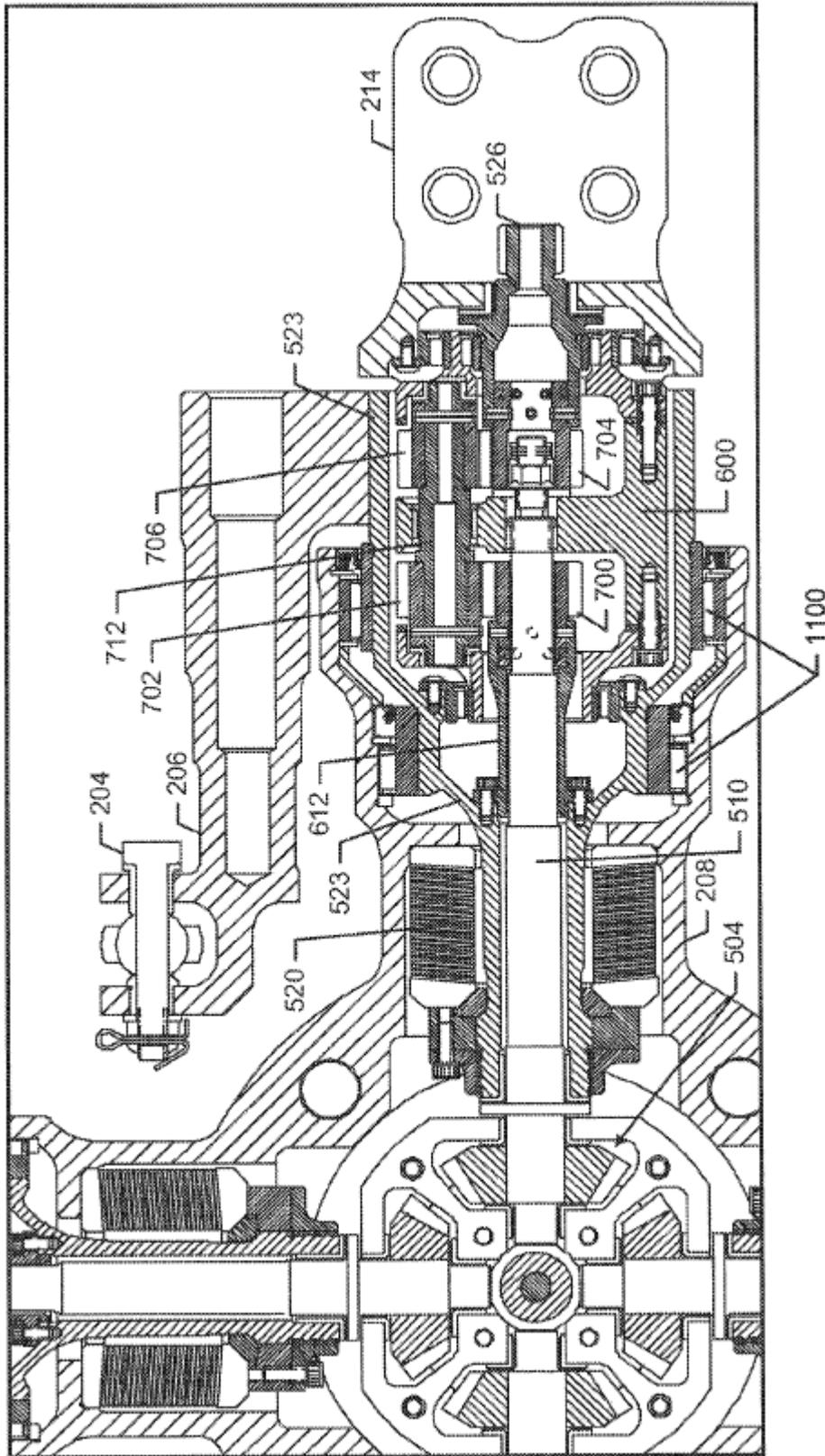


FIG. 11

