

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 421 439**

51 Int. Cl.:

F16H 33/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.04.2008 E 08735274 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2013 EP 2265843**

54 Título: **Dispositivo de multiplicación y método para proporcionar un movimiento rotatorio**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.09.2013

73 Titular/es:

**ERKE ERKE ARASTIRMALARI VE MÜHENDISLIK
A.S. (100.0%)
Halkali Merkez Mah. Basın Ekspres Yolu, No. 5/A
34303 Kucukcekmece/Istanbul, TR**

72 Inventor/es:

OZTÜRK, MUSTAFA NACI

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 421 439 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

Dispositivo de multiplicación y método para proporcionar un movimiento rotatorio.

5 La presente invención se refiere a un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor, y más específicamente a un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor, que puede suministrar energía rotatoria de salida alrededor de al menos un eje de salida en respuesta a una energía rotatoria de entrada alrededor de un eje diferente. Adicionalmente, la presente invención se refiere a un método para proporcionar una rotación y a un dispositivo de ensayo para la determinación de parámetros para el diseño y funcionamiento de un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor, de este tipo y a un correspondiente método.

10 Cuando sobre un cuerpo que rota actúa un par alrededor de un eje perpendicular al eje de rotación, esto hace que el propio eje de rotación rote alrededor de un eje adicional que es perpendicular tanto al eje del par aplicado como al eje de rotación. Este principio es muy conocido en los dispositivos giroscópicos. El efecto se denomina precesión.

15 El documento WO 2005/000 623 A2 representa la técnica más cercana, que describe un sistema y un método de accionamiento. El sistema de accionamiento comprende un árbol de salida, que puede rotar alrededor de un eje de rotación, y desde el que en uso se proporciona una salida; y al menos una unidad de rotor giroscópico que está acoplada de manera operativa al árbol de salida para accionar el árbol de salida al realizar una rotación de precesión de la al menos una unidad de rotor giroscópico alrededor del eje de rotación del árbol de salida. Aunque este documento da a conocer las características definidas en las secciones A) a C) de la reivindicación 1, no da a conocer las características definidas en las secciones D) a G) de la reivindicación 1.

20 El objeto de la presente invención es proporcionar un dispositivo de multiplicación mejorado, preferiblemente un dispositivo motor que utilice el principio mencionado anteriormente, y un correspondiente método para proporcionar rotación mediante dicho dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor.

Este objeto se soluciona por la invención a través de diferentes modos que están formulados en las reivindicaciones y que se describirán a continuación.

25 Los modos 1 a 4 se refieren a soluciones de dispositivo que se forman como un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor. Los modos 5 a 12 se refieren a soluciones de método que se forman como métodos para proporcionar rotación. El modo 13 se refiere a una solución de dispositivo que se forma como un dispositivo de ensayo para la determinación de parámetros para el diseño y funcionamiento de un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor según la invención. El modo 14 se refiere a una solución de método que se forma como un método para la determinación de parámetros para el diseño y funcionamiento de un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor según la invención.

30

Los diferentes modos 1 a 14 se indican en las reivindicaciones.

35 La solución según el modo 1 se obtiene mediante el objeto de la reivindicación 1. El objeto de la reivindicación 1 proporciona un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor para proporcionar rotación alrededor de al menos un eje de salida, comprendiendo el dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, un cuerpo montado para una rotación alrededor de un primer eje y una rotación alrededor de un segundo eje y una rotación alrededor de un tercer eje, estando orientado el primer eje con respecto al segundo eje en un ángulo de inclinación, constituyendo el segundo eje y/o el tercer eje el al menos un eje de salida del dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, en el que la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje da origen a un cambio en el ángulo de inclinación, medios para aplicar un par al cuerpo alrededor del tercer eje en el sentido de aumentar el ángulo de inclinación cuando el primer eje forma un ángulo de inclinación seleccionado con respecto al segundo eje que es mayor que 0 grados y menor que 90 grados, y medios para limitar la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de disminuir el ángulo de inclinación de modo que el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje permanece mayor que 0 grados y menor que 90 grados, estando estructurado el dispositivo de multiplicación para permitir que una fuente de energía motriz se conecte al cuerpo para hacer que el cuerpo rote alrededor del primer eje, y mediante lo cual la rotación del cuerpo alrededor del primer eje es a una velocidad angular mayor que una velocidad angular crítica de modo que se alcanza un ángulo de inclinación constante o decreciente, iniciando o aumentando de este modo una velocidad angular de salida y/o un par de salida de la rotación del cuerpo alrededor del segundo eje y/o alrededor del tercer eje como dicho al menos un eje de salida, mediante lo cual el cuerpo tiene una velocidad angular crítica específica de menos de 20000 revoluciones por minuto, preferiblemente para aumentar de este modo una energía de salida alrededor del al menos un eje de salida, mediante lo cual dicha velocidad angular crítica específica está definida como sigue: la velocidad angular crítica específica es la velocidad angular crítica del cuerpo cuando el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje es 45 grados, cuando el primer eje pasa sustancialmente a través del centro de masa del cuerpo, cuando el cuerpo está orientado de modo que el momento de inercia del cuerpo está sustancialmente maximizado, cuando, si el cuerpo no es simétrico alrededor de un plano que pasa a través del centro de masa del

55

5 cuerpo y que es ortogonal al primer eje, entre las posibles orientaciones de montaje del cuerpo en el primer eje se elige aquella que da como resultado una menor distancia entre el centro de masa del cuerpo y el tercer eje, y cuando una longitud de un brazo de conexión es a) 5 mm si la masa del cuerpo es menor que 0,1 kg, b) 25 mm si la masa del cuerpo es igual a o mayor que 0,1 kg y menor que 100 kg, c) 50 mm si la masa del cuerpo es igual a o mayor que 100 kg y menor que 1000 kg, y d) 100 mm si la masa del cuerpo es igual a o mayor que 1000 kg, mediante lo cual dicha longitud del brazo de conexión es la distancia del punto de intersección de un plano de conexión y del primer eje al tercer eje, mediante lo cual dicho plano de conexión es un plano que es ortogonal al primer eje e interseca el cuerpo y tiene la distancia mínima al eje de inclinación.

10 La solución según el modo 2 se alcanza mediante el objeto de la reivindicación 26. El objeto de la reivindicación 26 proporciona un dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor para proporcionar una rotación alrededor de al menos un eje de salida, comprendiendo el dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, un cuerpo montado para una rotación alrededor de un primer eje y una rotación alrededor de un segundo eje y una rotación alrededor de un tercer eje, estando orientado el primer eje con respecto al segundo eje en un ángulo de inclinación, constituyendo el segundo eje y/o el tercer eje el al menos un eje de salida del dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, en el que la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje da origen a un cambio en el ángulo de inclinación, medios para aplicar un par al cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de aumentar el ángulo de inclinación cuando el primer eje forma un ángulo de inclinación seleccionado con respecto al segundo eje que es mayor que 0 grados y menor que 90 grados, y medios para limitar la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación de modo que el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje permanece mayor que 0 grados y menor que 90 grados, estando estructurado el dispositivo de multiplicación para permitir que una fuente de energía motriz se conecte al cuerpo para hacer que el cuerpo rote alrededor del primer eje, y mediante lo cual la rotación del cuerpo alrededor del primer eje es a una velocidad angular mayor que una velocidad angular crítica de modo que se alcanza un ángulo de inclinación constante o decreciente, iniciando o aumentando de este modo una velocidad angular de salida y/o un par de salida de la rotación del cuerpo alrededor del segundo eje y/o alrededor del tercer eje como dicho al menos un eje de salida, mediante lo cual un ángulo entre el vector del par aplicado al cuerpo alrededor del tercer eje y el vector de la velocidad angular de salida alrededor del segundo eje está entre 85 grados y 93 grados, preferiblemente, cerca de 90 grados.

30 Si el ángulo entre el vector del par aplicado al cuerpo alrededor del tercer eje y el vector de la velocidad angular de salida alrededor del segundo eje está entre 85 grados y 93 grados, preferiblemente cerca de 90 grados, aumenta una energía de salida suministrada alrededor del al menos un eje de salida. Cuando el ángulo entre el vector del par aplicado al cuerpo alrededor del tercer eje (= vector de par aplicado) y el vector de movimiento de salida es mayor que 90 grados, aunque el ángulo de inclinación sea constante, la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación no puede detenerse completamente y en consecuencia disminuye el par de salida.

40 La solución según el modo 3 se logra mediante el objeto de la reivindicación 30. El objeto de la reivindicación 30 proporciona un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor, para proporcionar rotación alrededor de al menos un eje de salida, comprendiendo el dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, un cuerpo montado para una rotación alrededor de un primer eje y una rotación alrededor de un segundo eje y una rotación alrededor de un tercer eje, estando orientado el primer eje con respecto al segundo eje en un ángulo de inclinación, constituyendo el segundo eje y/o el tercer eje el al menos un eje de salida del dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, en el que la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje da origen a un cambio en el ángulo de inclinación, medios para aplicar un par al cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de aumentar el ángulo de inclinación cuando el primer eje forma un ángulo de inclinación seleccionado con respecto al segundo eje que es mayor que 0 grados y menor que 90 grados, y medios para limitar la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de disminuir el ángulo de inclinación de modo que el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje permanece mayor que 0 grados y menor que 90 grados, estando estructurado el dispositivo de multiplicación para permitir que una fuente de energía motriz se conecte al cuerpo para hacer que el cuerpo rote alrededor del primer eje, y mediante lo cual la rotación del cuerpo alrededor del primer eje es a una velocidad angular mayor que una velocidad angular crítica de modo que se alcanza un ángulo de inclinación constante o decreciente, iniciando o aumentando de este modo una velocidad angular de salida y/o un par de salida de la rotación del cuerpo alrededor del segundo eje y/o alrededor del tercer eje como dicho al menos un eje de salida, comprendiendo adicionalmente uno o más sensores para medir los valores de uno o más de los siguientes parámetros: la rotación alrededor del primer eje y/o del segundo eje y/o del tercer eje, la velocidad angular de la rotación alrededor del primer eje y/o del segundo eje y/o del tercer eje, la posición del cuerpo y/o del primer eje y/o del segundo eje y/o del tercer eje, el par de la rotación alrededor del primer eje y/o del segundo eje y/o del tercer eje, una fuerza.

60 La solución según el modo 4 se logra mediante el objeto de la reivindicación 31. El objeto de la reivindicación 31 proporciona un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor, para proporcionar rotación alrededor de al menos un eje de salida, comprendiendo el dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, un cuerpo montado para una rotación alrededor de un primer eje y una rotación alrededor de un segundo eje

- 5 y una rotación alrededor de un tercer eje, estando orientado el primer eje con respecto al segundo eje en un ángulo de inclinación, constituyendo el segundo eje y/o el tercer eje el al menos un eje de salida del dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, en el que la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje da origen a un cambio en el ángulo de inclinación, medios para aplicar un par al cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de aumentar el ángulo de inclinación cuando el primer eje forma un ángulo de inclinación seleccionado con respecto al segundo eje que es mayor que 0 grados y menor que 90 grados, y medios para limitar la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de disminuir el ángulo de inclinación de modo que el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje permanece mayor que 0 grados y menor que 90 grados, estando estructurado el dispositivo de multiplicación para permitir que una fuente de energía motriz se conecte al cuerpo para hacer que el cuerpo rote alrededor del primer eje, y mediante lo cual la rotación del cuerpo alrededor el primer eje es a una velocidad angular mayor que una velocidad angular crítica de modo que se alcanza un ángulo de inclinación constante o decreciente, iniciando o aumentando de este modo una velocidad angular de salida y/o un par de salida de la rotación del cuerpo alrededor del segundo eje y/o alrededor del tercer eje como dicho al menos un eje de salida, comprendiendo adicionalmente medios para limitar mecánicamente la rotación del cuerpo alrededor del eje de inclinación en ambos sentidos entre un valor de ángulo límite inferior y un valor de ángulo límite superior y medios para ajustar estos valores de ángulo límite durante el funcionamiento del dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, a un valor de ángulo límite inferior elegido mayor que 0 grados y menor que 90 grados y un valor de ángulo límite superior mayor que el valor de ángulo límite inferior elegido y menor que 90 grados.
- 10
- 15
- 20 La solución según el modo 5 se logra mediante el objeto de la reivindicación 39. El objeto de la reivindicación 39 proporciona un método para proporcionar una rotación alrededor de al menos un eje de salida, preferiblemente alrededor de al menos un eje de salida de un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor, comprendiendo el método: montar un cuerpo para una rotación alrededor de un primer eje y una rotación alrededor de un segundo eje y una rotación alrededor de un tercer eje, estando orientado el primer eje con respecto al
- 25 segundo eje en un ángulo de inclinación, constituyendo el segundo eje y/o el tercer eje el al menos un eje de salida, en el que la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje da origen a un cambio en el ángulo de inclinación; hacer rotar el cuerpo alrededor del primer eje a una velocidad angular mayor que una velocidad angular crítica; aplicar un par al cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de aumentar el ángulo de inclinación cuando el primer eje cuando forma un ángulo de inclinación seleccionado con respecto al segundo eje que es mayor que 0 grados y menor que 90 grados; y limitar la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de disminuir el ángulo de inclinación de modo que el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje permanece mayor que 0 grados y menor que 90 grados, de modo que se alcanza un ángulo de inclinación constante o decreciente, iniciando o aumentando de este modo una velocidad angular de salida y/o un par de salida de la rotación del cuerpo alrededor del segundo eje y/o alrededor del tercer eje como dicho al menos un eje de salida, mediante lo cual el método comprende además utilizar un cuerpo con una velocidad angular crítica específica de menos de 20000 revoluciones por minuto, preferiblemente para aumentar de ese modo una energía de salida alrededor del al menos un eje de salida, mediante lo cual dicha velocidad angular crítica específica está definida como sigue: la velocidad angular crítica específica es la velocidad angular crítica del cuerpo cuando el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje es 45 grados, cuando el primer eje pasa sustancialmente a través del centro de masa del
- 30 cuerpo, cuando el cuerpo está orientado de modo de que el momento de inercia del cuerpo está sustancialmente maximizado, cuando, si el cuerpo no es simétrico alrededor de un plano que pasa a través del centro de masa del cuerpo y que es ortogonal al primer eje, entre las posibles orientaciones de montaje, de montaje del cuerpo sobre el primer eje, se elige aquella que da como resultado una menor distancia entre el centro de masa del cuerpo y el tercer eje, y cuando la longitud de un brazo de conexión es a) 5 mm si la masa del cuerpo es menor que 0,1 kg, b)
- 35 25 mm si la masa del cuerpo es igual a o mayor que 0,1 kg y menor que 100 kg, c) 50 mm si la masa del cuerpo es igual a o mayor que 100 kg y menor que 1000 kg, y d) 100 mm si la masa del cuerpo es igual a o mayor que 1000 kg, mediante lo cual dicha longitud del brazo de conexión es la distancia del punto de intersección de un plano de conexión y el primer eje al tercer eje, mediante lo cual dicho plano de conexión es un plano que es ortogonal al primer eje e interseca el cuerpo y tiene la distancia mínima al eje de inclinación.
- 40
- 45
- 50 La solución según el modo 6 se logra mediante el objeto de la reivindicación 57. El objeto de la reivindicación 57 proporciona un método para proporcionar una rotación alrededor de al menos un eje de salida, preferiblemente alrededor de al menos un eje de salida de un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor, comprendiendo el método: montar un cuerpo para una rotación alrededor de un primer eje y una rotación alrededor de un segundo eje y una rotación alrededor de un tercer eje, estando orientado el primer eje con respecto al
- 55 segundo eje en un ángulo de inclinación, constituyendo el segundo eje y/o el tercer eje el al menos un eje de salida, en el que la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje da origen a un cambio en el ángulo de inclinación; hacer rotar el cuerpo alrededor del primer eje a una velocidad angular mayor que una velocidad angular crítica; aplicar un par al cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de aumentar el ángulo de inclinación cuando el primer eje forma un ángulo de inclinación seleccionado con respecto al segundo eje que es mayor que 0 grados y menor que 90 grados; y limitar la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de disminuir el ángulo de inclinación de modo que el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje permanece mayor que 0 grados y menor que 90 grados, de modo que se alcanza un ángulo de inclinación constante o decreciente, iniciando o aumentando de este modo una velocidad angular de salida y/o un par de salida de la rotación del cuerpo alrededor
- 60

del segundo eje y/o alrededor del tercer eje como dicho al menos un eje de salida, mediante lo cual el método comprende adicionalmente aplicar el par al cuerpo alrededor del tercer eje al menos parcialmente mediante el peso del cuerpo.

5 La solución según el modo 7 se logra mediante el objeto de la reivindicación 58. El objeto de la reivindicación 58 proporciona un método para proporcionar una rotación alrededor de al menos un eje de salida, preferiblemente
 10 alrededor de al menos un eje de salida de un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor, comprendiendo el método: montar un cuerpo para una rotación alrededor de un primer eje y una rotación alrededor de un segundo eje y una rotación alrededor de un tercer eje, estando orientado el primer eje con respecto al
 15 segundo eje en un ángulo de inclinación, constituyendo el segundo eje y/o el tercer eje el al menos un eje de salida, en el que la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje da origen a un cambio en el ángulo de inclinación; hacer rotar el cuerpo alrededor del primer eje a una velocidad angular mayor que una velocidad angular crítica; aplicar un par al cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de aumentar el ángulo de inclinación cuando el primer eje forma un ángulo de inclinación seleccionado con respecto al segundo eje que es mayor que 0 grados y menor que 90
 20 grados; y limitar la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de disminuir el ángulo de inclinación de modo que el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje permanece mayor que 0 grados y menor que 90 grados, de modo que se alcanza un ángulo de inclinación constante o decreciente, iniciando o aumentando de este modo una velocidad angular de salida y/o un par de salida de la rotación del cuerpo alrededor del segundo eje y/o alrededor del tercer eje como dicho al menos un eje de salida mediante lo cual el método comprende adicionalmente medir valores de uno o más de los siguientes parámetros: la rotación alrededor del primer eje y/o del segundo eje y/o del tercer eje, la velocidad angular de la rotación alrededor del primer eje y/o del segundo eje y/o del tercer eje, la posición del cuerpo y/o del primer eje y/o del segundo eje y/o del tercer eje, el par de la rotación alrededor del primer eje y/o del segundo eje y/o del tercer eje, una fuerza.

25 La solución según el modo 8 se logra mediante el objeto de la reivindicación 59. El objeto de la reivindicación 59 proporciona un método para proporcionar una rotación alrededor de al menos un eje de salida, preferiblemente alrededor de al menos un eje de salida de un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor, comprendiendo el método: montar un cuerpo para una rotación alrededor de un primer eje y una rotación alrededor de un segundo eje y una rotación alrededor de un tercer eje, estando orientado el primer eje con respecto al segundo eje en un ángulo de inclinación, constituyendo el segundo eje y/o el tercer eje el al menos un eje de salida, en el que la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje da origen a un cambio en el ángulo de inclinación; hacer
 30 rotar el cuerpo alrededor del primer eje a una velocidad angular mayor que una velocidad angular crítica; aplicar un par al cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de aumentar el ángulo de inclinación cuando el primer eje forma un ángulo de inclinación seleccionado con respecto al segundo eje que es mayor que 0 grados y menor que 90 grados; y limitar la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de disminuir el ángulo de inclinación de modo que el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje permanece mayor que 0 grados y menor que 90 grados, de modo que se alcanza un ángulo de inclinación constante o decreciente, iniciando o aumentando de este modo una velocidad angular de salida y/o un par de salida de la rotación del cuerpo alrededor del segundo eje y/o alrededor del tercer eje como dicho al menos un eje de salida, mediante lo cual el método comprende adicionalmente limitar mecánicamente la rotación del cuerpo alrededor del eje de inclinación en ambos sentidos entre un valor de ángulo límite inferior y un valor de ángulo límite superior y ajustar, mientras se
 35 proporciona rotación durante el funcionamiento del dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, estos valores de ángulo límite a un valor de ángulo límite inferior elegido mayor que 0 grados y menor que 90 grados y un valor de ángulo límite superior mayor que el valor de ángulo límite inferior elegido y menor que 90 grados.

45 La solución según el modo 9 se logra mediante el objeto de la reivindicación 60. El objeto de la reivindicación 60 proporciona un método para proporcionar una rotación alrededor de al menos un eje de salida, preferiblemente alrededor de al menos un eje de salida de un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor, comprendiendo el método: montar un cuerpo para una rotación alrededor de un primer eje y una rotación alrededor de un segundo eje y una rotación alrededor de un tercer eje, estando orientado el primer eje con respecto al segundo eje en un ángulo de inclinación, constituyendo el segundo eje y/o el tercer eje el al menos un eje de salida, en el que la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje da origen a un cambio en el ángulo de inclinación; hacer
 50 rotar el cuerpo alrededor del primer eje a una velocidad angular mayor que una velocidad angular crítica; aplicar un par al cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de aumentar el ángulo de inclinación cuando el primer eje forma un ángulo de inclinación seleccionado con respecto al segundo eje que es mayor que 0 grados y menor que 90 grados; y limitar la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de disminuir el ángulo de inclinación de modo que el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje permanece mayor que 0 grados y menor que 90 grados, de modo que se alcanza un ángulo de inclinación constante o decreciente, iniciando o aumentando de este modo una velocidad angular de salida y/o un par de salida de la rotación del cuerpo alrededor del segundo eje y/o alrededor del tercer eje como dicho al menos un eje de salida, mediante lo cual el método comprende adicionalmente aumentar una energía de salida suministrada alrededor del al menos un eje de salida mediante la disminución de una distancia entre el centro de masa del cuerpo y el segundo eje.

60 La solución según el modo 10 se logra mediante el objeto de la reivindicación 61. El objeto de la reivindicación 61 proporciona un método para proporcionar una rotación alrededor de al menos un eje de salida, preferiblemente

alrededor de al menos un eje de salida de un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor, comprendiendo el método: montar un cuerpo para una rotación alrededor de un primer eje y una rotación alrededor de un segundo eje y una rotación alrededor de un tercer eje, estando orientado el primer eje con respecto al segundo eje en un ángulo de inclinación, constituyendo el segundo eje y/o el tercer eje el al menos un eje de salida, en el que la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje da origen a un cambio en el ángulo de inclinación; hacer rotar el cuerpo alrededor del primer eje a una velocidad angular mayor que una velocidad angular crítica; aplicar un par al cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de aumentar el ángulo de inclinación cuando el primer eje forma un ángulo de inclinación seleccionado con respecto al segundo eje que es mayor que 0 grados y menor que 90 grados; y limitar la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de disminuir el ángulo de inclinación de modo que el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje permanece mayor que 0 grados y menor que 90 grados, de modo que se alcanza un ángulo de inclinación constante o decreciente, iniciando o aumentando de este modo una velocidad angular de salida y/o un par de salida de la rotación del cuerpo alrededor del segundo eje y/o alrededor del tercer eje como dicho al menos un eje de salida, mediante lo cual el método comprende adicionalmente aumentar una energía de salida suministrada alrededor del al menos un eje de salida mediante una disminución de una variación de un ángulo entre un vector normal de un primer plano del bastidor y un vector normal de un segundo plano del bastidor, estando definido el plano del bastidor como un plano que pasa a través de tres puntos no lineales de un bastidor en el que está montado el dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor.

La solución según el modo 11 se logra mediante el objeto de la reivindicación 63. El objeto de la reivindicación 63 proporciona un método para proporcionar una rotación alrededor de al menos un eje de salida, preferiblemente alrededor de al menos un eje de salida de un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor, comprendiendo el método: montar un cuerpo para una rotación alrededor de un primer eje y una rotación alrededor de un segundo eje y una rotación alrededor de un tercer eje, estando orientado el primer eje con respecto al segundo eje en un ángulo de inclinación, constituyendo el segundo eje y/o el tercer eje el al menos un eje de salida, en el que la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje da origen a un cambio en el ángulo de inclinación; hacer rotar el cuerpo alrededor del primer eje a una velocidad angular mayor que una velocidad angular crítica; aplicar un par al cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de aumentar el ángulo de inclinación cuando el primer eje forma un ángulo de inclinación seleccionado con respecto al segundo eje que es mayor que 0 grados y menor que 90 grados; y limitar la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de disminuir el ángulo de inclinación de modo que el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje permanece mayor que 0 grados y menor que 90 grados, de modo que se alcanza un ángulo de inclinación constante o decreciente, iniciando o aumentando de este modo una velocidad angular de salida y/o un par de salida de la rotación del cuerpo alrededor del segundo eje y/o alrededor del tercer eje como dicho al menos un eje de salida, mediante lo cual el método comprende adicionalmente aumentar una energía de salida suministrada alrededor del al menos un eje de salida mediante la disminución de una variación de un ángulo entre un vector de la velocidad angular de salida alrededor del al menos un eje de salida y un vector normal de un plano del bastidor, estando definido el plano del bastidor como un plano que pasa a través de tres puntos no lineales de un bastidor en el que está montado el dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor.

La solución según el modo 12 se logra mediante el objeto de la reivindicación 65. El objeto de la reivindicación 65 proporciona un método para proporcionar una rotación alrededor de al menos un eje de salida, preferiblemente alrededor de al menos un eje de salida de un dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, comprendiendo el método: montar un cuerpo para una rotación alrededor de un primer eje y una rotación alrededor de un segundo eje y una rotación alrededor de un tercer eje, estando orientado el primer eje con respecto al segundo eje en un ángulo de inclinación, constituyendo el segundo eje y/o el tercer eje el al menos un eje de salida, en el que la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje da origen a un cambio en el ángulo de inclinación; hacer rotar el cuerpo alrededor del primer eje a una velocidad angular mayor que una velocidad angular crítica; aplicar un par al cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de aumentar el ángulo de inclinación cuando el primer eje forma un ángulo de inclinación seleccionado con respecto al segundo eje que es mayor que 0 grados y menor que 90 grados; y limitar la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en un sentido de disminuir el ángulo de inclinación de modo que el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje permanece mayor que 0 grados y menor que 90 grados, de modo que se alcanza un ángulo de inclinación constante o decreciente, iniciando o aumentando de este modo una velocidad angular de salida y/o un par de salida de la rotación del cuerpo alrededor del segundo eje y/o alrededor del tercer eje como dicho al menos un eje de salida, mediante lo cual el método comprende adicionalmente aumentar una energía de salida suministrada alrededor del al menos un eje de salida mediante la disminución de una variación de un ángulo entre el vector de velocidad angular del movimiento angular del cuerpo alrededor del primer eje y un vector normal a un plano del cuerpo, estando definido el plano del cuerpo como un plano que pasa a través de tres puntos no lineales del cuerpo.

La solución según el modo 13 se logra mediante el objeto de la reivindicación 67. El objeto de la reivindicación 67 proporciona un dispositivo de ensayo para la determinación de parámetros para el diseño y funcionamiento de un dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, mediante el cual el dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor comprende un árbol de salida que está conectado sólidamente con un mecanismo basculante exterior, siendo un eje de giro un eje de rotación de un cuerpo que está dispuesto de forma rotatoria en

un mecanismo basculante interno, y un eje de inclinación perpendicular al árbol de salida, mediante lo cual el eje de giro forma de manera rotatoria un ángulo de inclinación entre el eje de giro y el árbol de salida, el eje de giro está conectado articuladamente con un cuerpo, y se aplica un par alrededor del eje de inclinación, el dispositivo de ensayo comprende un eje de salida que constituye un eje longitudinal de un árbol de salida vertical, constituyendo un eje de giro un eje de rotación de un cuerpo que está soportado en el eje de giro, un eje de inclinación que es perpendicular al eje de salida y puede pivotar alrededor del eje de giro formando un ángulo de inclinación entre el eje de giro y el árbol de salida, mediante lo cual el cuerpo puede estar dispuesto excéntricamente con respecto al eje de inclinación mediante lo cual se forma un brazo de palanca de una longitud $t > 0$.

La solución según el modo 14 se logra mediante el objeto de la reivindicación 68. El objeto de la reivindicación 68 proporciona un método para la determinación de parámetros para el diseño y funcionamiento de un dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, mediante el cual el dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, comprende un árbol de salida que está conectado sólidamente con un mecanismo basculante exterior siendo un eje de giro un eje de rotación de un cuerpo que está dispuesto de forma rotatoria en un mecanismo basculante interno, y un eje de inclinación perpendicular al árbol de salida, mediante lo cual el eje de giro forma de manera rotatoria un ángulo de inclinación entre el eje de giro y el árbol de salida, el eje de giro está conectado articuladamente con un cuerpo, y se aplica un par alrededor del eje de inclinación, mediante lo cual se utiliza el dispositivo de ensayo según la reivindicación 67 y mediante lo cual se ajusta una velocidad angular del cuerpo alrededor del eje de giro a diferentes valores, mediante lo cual se determina para cada uno de los diferentes valores si la velocidad angular ajustada es mayor o menor que una velocidad angular crítica mediante la medición del sentido de rotación del eje de giro alrededor del eje de inclinación.

El dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, puede utilizarse como un dispositivo de multiplicación y/o un dispositivo motor. En este contexto, el término "motor" no debe entenderse como un motor que convierte energía no mecánica en energía mecánica, tal como un motor de gasolina o un motor eléctrico. Aquí, el término "motor" debe entenderse como un motor que convierte energía mecánica en energía mecánica, similar a un motor hidráulico. Cuando se hace referencia en este texto a un dispositivo de multiplicación, esta expresión debe entenderse como que comprende un dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor.

Los inventores de la presente invención han hallado que, cuando el eje de rotación del cuerpo (también denominado en adelante primer eje o eje de giro) está restringido a rotar alrededor de

(a) un segundo eje que forma un ángulo agudo (también denominado en adelante ángulo de inclinación) con el eje de rotación del cuerpo, y

(b) un tercer eje (también denominado en adelante el eje de inclinación) que es sustancialmente perpendicular a tanto el primer eje como el segundo eje,

la aplicación de un par alrededor del eje de inclinación en el sentido de aumentar el ángulo agudo hace que el primer eje rote alrededor del segundo eje.

Cuando la velocidad de rotación del cuerpo excede un cierto valor crítico, este par aplicado da origen a un par de reacción de una magnitud mayor que la del par aplicado y que también está dirigido alrededor del eje de inclinación, pero en sentido opuesto. Este par de reacción hace que el primer eje rote alrededor del eje de inclinación en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación. Sin embargo, si se limita esta rotación alrededor del eje, por ejemplo mediante medios mecánicos, entonces la velocidad de rotación del cuerpo alrededor del segundo eje se aumenta, dando origen así a una fuente útil de energía motriz. Se apreciará que, con tal sistema, los medios que son utilizados para limitar la rotación alrededor del eje de inclinación no requieren fuente de energía, aumentando así la eficiencia del dispositivo de multiplicación.

Con el objeto de entender estos efectos, es útil considerar los siguientes casos (i) a (iv) cuando se hace rotar el cuerpo a diferentes velocidades angulares alrededor del primer eje:

(i) En la situación trivial en la que el cuerpo no rota alrededor del primer eje, la aplicación de un par alrededor del eje de inclinación en el sentido de aumentar la magnitud del ángulo agudo da origen meramente a una correspondiente rotación del primer eje alrededor del eje de inclinación en el sentido de aumentar el ángulo de inclinación.

(ii) Si se hace rotar el cuerpo a una velocidad angular (= velocidad de rotación) que es menor que una velocidad angular crítica (= velocidad de rotación crítica), hay dos rotaciones resultantes del primer eje: no solo hay una rotación del primer eje alrededor del eje de inclinación en el sentido de aumentar el ángulo de inclinación, como en el caso (i) de un cuerpo no rotatoria, sino que hay también una rotación del primer eje alrededor del segundo eje. Este efecto es conocido como precesión. Conforme la velocidad de rotación del cuerpo aumenta, la velocidad de rotación del primer eje alrededor del eje de inclinación disminuye, mientras que la velocidad de rotación del primer eje alrededor del segundo eje aumenta.

(iii) Cuando la velocidad de rotación del cuerpo es igual a la velocidad angular crítica, aún hay rotación del primer eje alrededor del segundo eje, pero ya no hay más rotación del primer eje alrededor del eje de inclinación.

5 (iv) Si se hace rotar el cuerpo a una velocidad angular por encima de la velocidad angular crítica, hay de nuevo dos rotaciones del primer eje, es decir alrededor de tanto el segundo eje como el eje de inclinación, pero en este caso la rotación alrededor del eje de inclinación es en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación. Es sólo cuando la velocidad de rotación del cuerpo está por encima de la velocidad angular crítica que el dispositivo de multiplicación es capaz de proporcionar energía rotacional (= motriz) útil alrededor del segundo eje y/o del eje de inclinación, cualquiera o ambos de los que pueden servir como un eje de salida del dispositivo de multiplicación.

10 Si se hace rotar el cuerpo alrededor del primer eje a una velocidad angular por encima de la velocidad angular crítica, el dispositivo de multiplicación proporciona un movimiento de salida (= rotación) alrededor del segundo eje y/o un movimiento de salida (= rotación) alrededor del tercer eje. Cada una de las dos rotaciones puede estar caracterizada por una respectiva velocidad angular y un respectivo par. En caso que se haga rotar el cuerpo alrededor del primer eje a una velocidad angular por encima de la velocidad angular crítica, la rotación del cuerpo
15 alrededor del tercer eje en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación se denomina también movimiento de reacción. La velocidad angular del movimiento de reacción es también denominada velocidad de reacción. El par del movimiento de reacción se denomina también par de reacción.

Se ha hallado que la velocidad angular crítica del cuerpo varía dependiendo de la geometría del cuerpo, la densidad del material del cuerpo, el ángulo de inclinación, la magnitud del par aplicado al cuerpo alrededor del tercer eje, y condiciones ambientales tales como temperatura y humedad ambiente.

20 Los inventores han hallado experimentalmente que la energía motriz de entrada suministrada al cuerpo para causar su rotación es utilizada para generar energía motriz de salida en forma de la rotación del cuerpo alrededor de este eje de salida con eficiencia extremadamente elevada. Como consecuencia, un dispositivo de multiplicación construido según este principio sería de particular utilidad. El al menos un eje de salida es el segundo eje y/o el tercer eje.

25 Los inventores han hallado que, con tal disposición, la eficiencia del dispositivo de multiplicación es extremadamente elevada. Más aún, los medios de aplicación de par actúan convenientemente como un interruptor que desencadena la provisión de una energía motriz de salida.

30 Los medios limitantes están dispuestos para evitar cualquier rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación. Como se mencionó anteriormente, como no se requiere que los medios limitantes de la rotación se muevan, pueden estar constituidos por medios puramente mecánicos, por ejemplo un tope, que no requiere una fuente de energía, contribuyendo de este modo a la elevada eficiencia del dispositivo de multiplicación.

35 Una fuente de energía motriz puede estar conectada al cuerpo para causar su rotación alrededor del primer eje a una velocidad rotacional superior a la velocidad angular crítica. Alternativamente, la rotación del cuerpo alrededor del eje de giro podría generarse manualmente.

40 Cuando se aplica un par al cuerpo alrededor del tercer eje para aumentar el ángulo de inclinación, se crea un campo de fuerzas en el cuerpo por sí mismo. Por ejemplo, para un cuerpo cilíndrico de un grosor dx , la forma del campo de fuerzas es la misma que el campo de fuerzas existente en una sección transversal circular de una varilla que es forzada a doblarse. Este campo de fuerzas, combinado con la rotación del cuerpo alrededor del primer eje, constituye un movimiento de salida. La eficiencia de transmisión está definida como la eficiencia de transmitir el movimiento constituido por el campo de fuerzas al movimiento de salida alrededor del segundo eje. El aumento de la eficiencia de transmisión aumenta el par de salida, es decir, el par proporcionado alrededor del eje de salida, y aumenta la eficiencia del dispositivo de multiplicación. La eficiencia de transmisión depende de tanto la resistencia de los materiales de las partes del dispositivo de multiplicación sobre las que actúan las fuerzas variables (fuerzas
45 cuya dirección relativa a la parte, varía) como la resistencia a través de la forma de estas partes.

Si el cuerpo rota alrededor del tercer eje, esto da origen a un cambio en el ángulo de inclinación. Esto significa que el ángulo de inclinación cambia, es decir, el ángulo de inclinación aumenta o disminuye.

50 La longitud del brazo de conexión está definida como la distancia del punto de intersección del plano de conexión y el primer eje al tercer eje, preferiblemente al centro del pivote donde el primer eje está montado de forma pivotante alrededor del segundo eje. Existen infinitos planos que intersecan el cuerpo y son ortogonales al eje de giro. Entre estos planos, aquél que tiene la distancia mínima al tercer eje, preferiblemente el centro del pivote, está definido como el plano de conexión.

Con el objeto de medir la velocidad crítica específica de un cuerpo, el cuerpo debe estar montado en el dispositivo

de ensayo según el modo 13 de manera que

- a) el eje de giro pasa a través del centro de masa del cuerpo,
- b) el eje de giro está orientado de manera que se maximiza el momento de inercia, y
- 5 c) si el cuerpo no es simétrico alrededor del plano central (el plano que pasa a través del centro de masa del cuerpo y es ortogonal al primer eje), entre dos posibles orientaciones de montaje debe utilizarse aquella con una menor distancia entre el centro de masa del cuerpo y el tercer eje, preferiblemente el centro de pivote.

Ventajas adicionales de los modos 1 a 14 se lograrán mediante las realizaciones de la invención indicadas en las reivindicaciones dependientes.

10 En relación con los modos 1 y 5, se proporciona un modo alternativo de determinar la velocidad angular crítica específica cuando el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje es 80 grados en lugar de 45 grados. Si las fuerzas de fricción que actúan contra la rotación alrededor del eje 4 de giro son elevadas, esta disposición a 80° ayuda a aumentar y comprobar/verificar, respectivamente, la precisión de la medición de la velocidad angular crítica específica mediante la reducción de la tasa de transmisión del par del eje de giro al segundo eje causada por las fuerzas de fricción que actúan contra la rotación alrededor del eje de giro.

15 Se proporciona una realización preferida de los modos 1 y 5 si el cuerpo tiene una velocidad angular crítica específica de menos de 15000 revoluciones por minuto. Se proporciona otra realización preferida de los modos 1 y 5 si el cuerpo tiene una velocidad angular crítica específica de menos de 10000 revoluciones por minuto. Se proporciona aún otra realización preferida de los modos 1 y 5 si el cuerpo tiene una velocidad angular crítica específica de menos de 5000 revoluciones por minuto. Todos los intervalos mencionados anteriormente de la
20 velocidad angular crítica específica pueden entenderse en combinación con todas las reivindicaciones.

25 Como es obligatorio que la velocidad de giro del cuerpo sea mayor que la velocidad crítica del cuerpo durante el funcionamiento del dispositivo de multiplicación, un cuerpo con un valor crítico específico mayor debe hacerse rotar a mayores velocidades en comparación con un cuerpo con una velocidad crítica específica menor. La rotación de un cuerpo a un valor de velocidad de giro menor es beneficioso porque, como se conoce, las pérdidas de fricción (tales como fricción con el aire, fricción de los rodamientos) aumenta exponencialmente con la velocidad de giro. Más aún, las mayores velocidades de giro en el dispositivo de multiplicación requieren que deba hacerse más elevada la resistencia global del motor, y esto aumentaría los costes de producción del dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor.

30 Para cuerpos con forma cilíndrica con la misma densidad, la velocidad angular crítica específica de un cuerpo aumenta conforme disminuye la relación del diámetro del cuerpo al grosor (= altura de cilindro) del cuerpo.

Para dos cuerpos diferentes con la misma masa, el mismo grosor (= altura) y la misma densidad pero con diferentes formas, concretamente uno cilíndrico, otro con forma de anillo, aquél con la forma cilíndrica tiene la menor velocidad angular crítica.

35 Un cuerpo con elevada masa y elevado volumen puede no tener una velocidad angular crítica específica elevada. Esto significa que no hay necesariamente una correlación positiva entre el parámetro "velocidad angular crítica específica de un cuerpo" y el parámetro "masa y volumen del cuerpo".

Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si el dispositivo de multiplicación comprende una fuente de energía motriz que está conectada al cuerpo para hacer que el cuerpo rote alrededor del primer eje a dicha velocidad angular mayor que dicha velocidad angular crítica.

40 Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si el dispositivo de multiplicación comprende medios de retroalimentación para transmitir energía motriz desde el movimiento del cuerpo alrededor del al menos un eje de salida hacia la fuerza de energía motriz. De esta manera, es posible retroalimentar al menos una parte de la energía de salida, definida como el producto del par de salida y la velocidad rotacional, dentro del dispositivo de multiplicación. Los medios de retroalimentación están dispuestos preferiblemente para transmitir suficiente energía
45 motriz a la fuente de energía motriz para superar las pérdidas de energía que surgen de la fricción debida a la rotación del cuerpo alrededor del primer eje en régimen estacionario. El régimen estacionario está definido como el estado cuando el ángulo de inclinación es constante y la magnitud del par aplicado alrededor del tercer eje es constante y la velocidad angular de salida alrededor del al menos un eje de salida es constante.

50 Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si el dispositivo de multiplicación comprende medios para controlar la fuente de energía motriz para hacer que el cuerpo rote alrededor del primer eje a dicha velocidad de rotación superior a la velocidad angular crítica.

Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si los medios de aplicación de par están dispuestos para aplicar el par cuando el ángulo de inclinación seleccionado está dentro de un intervalo de 10 grados a 80 grados.

5 Los medios para aplicar un par pueden comprender un resorte. Adicionalmente, o alternativamente, los medios para aplicar un par pueden comprender uno o más de: un gato hidráulico; un gato neumático; un gato electromagnético.

Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si el dispositivo de multiplicación comprende medios para controlar la magnitud del par aplicado mediante los medios de aplicación de par.

10 Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si los medios limitantes están dispuestos para limitar la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje de modo de que el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje sea mayor que 10 grados y menor que 80 grados.

15 Se ha hallado que existe un ángulo de inclinación óptimo que depende de varios factores incluyendo un par de salida deseado del dispositivo de multiplicación y una velocidad angular de salida deseada del dispositivo de multiplicación. Por ejemplo, cuando el ángulo de inclinación es cercano a 0 grados, el par de salida alrededor del segundo eje está en un mínimo pero la velocidad de rotación alrededor del segundo eje está en un máximo. De manera inversa, cuando el ángulo de inclinación es cercano a 90 grados, el par de salida alrededor del segundo eje está en un máximo, pero la velocidad de rotación alrededor del segundo eje está en un mínimo. Como la energía de salida del dispositivo de multiplicación es el producto del par de salida y de la velocidad de rotación de salida, se sigue que, con el objeto de maximizar la energía de salida, será necesario seleccionar un ángulo de inclinación para el cual el producto del par de salida y la velocidad de rotación de salida se maximiza.

20 Así, se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si el dispositivo de multiplicación comprende además medios de ajuste para el ángulo de inclinación. En este caso, también pueden proporcionarse medios para seleccionar una velocidad de salida deseada y/o un par de salida deseado del dispositivo de multiplicación y ajustar el ángulo de inclinación en consecuencia.

25 Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si el dispositivo de multiplicación comprende medios para seleccionar una velocidad angular de salida deseada del dispositivo de multiplicación y hacer que los medios de ajuste ajusten el ángulo de inclinación en dependencia de la velocidad angular de salida deseada.

Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si el dispositivo de multiplicación comprende medios para seleccionar un par de salida deseado del dispositivo de multiplicación y hacer que los medios de ajuste ajusten el ángulo de inclinación dependiendo del par de salida seleccionado.

30 Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si los medios limitantes están dispuestos para evitar cualquier rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación.

35 Los medios para aplicar un par se utilizan para aplicar un par al cuerpo alrededor del eje de inclinación para aumentar el ángulo de inclinación. Preferiblemente, los medios para aplicar un par permiten controlar la magnitud del par durante el funcionamiento del dispositivo de multiplicación mediante una unidad de control. Si estos medios para aplicar un par, por ejemplo un gato hidráulico, están controlados con una unidad de control adecuada, los medios para aplicar un par pueden servir adicionalmente como medios limitantes para limitar el movimiento de reacción alrededor del eje de inclinación y ajustar adicionalmente el ángulo de inclinación a un valor deseado según una velocidad de movimiento de salida/par de salida deseada/o y/o una velocidad de reacción/par de salida deseada/o. En este sentido, se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si los medios para aplicar un par sirven adicionalmente como los medios limitantes.

45 Dichos medios para aplicar un par sirven para aplicar un par al árbol de rotación y de este modo al cuerpo alrededor de un tercer eje en el sentido de aumentar el eje de inclinación. Dichos medios para aplicar un par pueden servir adicionalmente para evitar la rotación del cuerpo alrededor del eje de inclinación en un sentido opuesto al del par aplicado. Dichos medios para aplicar un par pueden también servir para ajustar el ángulo de inclinación a un valor deseado que corresponde a una velocidad de movimiento de salida/par de salida deseada/o y/o una velocidad de reacción/par de reacción deseada/o.

50 Para aplicar un par al cuerpo alrededor del eje de inclinación en el sentido de aumentar el ángulo de inclinación, para limitar el movimiento de reacción en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación y para ajustar el ángulo de inclinación a un valor deseado correspondiente a una velocidad de movimiento de salida/par de salida deseada/o y/o una velocidad de reacción/par de reacción deseada/o, el funcionamiento de dichos medios para aplicar un par es controlado mediante una unidad de control apropiada que está proporcionada con señales de entrada desde sensores tales como señales de posición, movimiento, velocidad, toque, par y fuerza. Las señales de control generadas mediante la unidad de control en respuesta a las señales de entrada afectan a los medios para aplicar un

par para ajustar la magnitud del par aplicado al cuerpo alrededor del eje de inclinación, limitar el movimiento de reacción y ajustar el ángulo de inclinación al valor deseado.

5 Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si los medios limitantes comprenden un tope o soporte separado. Preferiblemente, el tope es un medio que puede detener una rotación del cuerpo alrededor del eje de inclinación sin consumo de energía, por ejemplo un tope o un perno.

Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si el primer eje pasa sustancialmente a través del centro de masa del cuerpo y el cuerpo está orientado de modo que el momento de inercia del cuerpo está sustancialmente maximizado.

10 Se proporciona una primera realización preferida de los modos 1 a 4 si el primero y segundo ejes se intersecan. Preferiblemente, cualquiera o ambos de los ejes primero y segundo pasan sustancialmente a través del centro de masa del cuerpo. Disminuyendo la distancia entre el centro de masa del cuerpo y el segundo eje y manteniendo la variación de esta distancia tan pequeña como sea posible, aumenta la energía de salida y aumenta la eficiencia. Cuando el segundo eje pasa a través del centro de masa del cuerpo, la eficiencia es máxima considerando sólo esta distancia como un parámetro.

15 Se proporciona una segunda realización preferida alternativa de los modos 1 a 4 si el primer y segundo eje no se intersecan, en cuyo caso el ángulo de inclinación está definido como el ángulo agudo entre los ejes primero y segundo cuando se ven a lo largo de la dirección de la línea más corta que une los ejes primero y segundo. Un modo alternativo de expresar esta relación geométrica es considerar un punto en el primer eje y considerar una línea imaginaria que pasa a través de este punto y que es paralela al segundo eje. El ángulo de inclinación es entonces
20 definido como el ángulo agudo en el que el primer eje interseca esta línea imaginaria.

Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si el cuerpo está conformado en una forma que hace que el cambio en el campo de fuerzas constituido en el cuerpo por el par aplicado alrededor del tercer eje, sea minimizado durante 360 grados de rotación del cuerpo alrededor del primer eje.

25 Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si el cuerpo es sustancialmente simétrico de manera cilíndrica alrededor del primer eje y puede comprender un cilindro. Es posible que el cuerpo comprenda un cubo y una malla y un borde de anillo. Preferiblemente, la suma del peso del cubo y del peso de la malla es menor que el peso del borde.

30 Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si uno o más de los siguientes componentes del dispositivo de multiplicación están hechos de un material que tiene un elevado módulo de elasticidad: el cuerpo, un árbol donde el cuerpo está montado, un árbol de salida a lo largo del al menos un eje de salida, las partes del dispositivo de multiplicación sobre las que actúan las fuerzas. Un material que tiene un elevado módulo de elasticidad incluye cualquier material con un módulo de elasticidad por encima de 70 GPa, preferiblemente por encima de 100 GPa. Utilizando materiales que tienen elevado módulo de elasticidad para las partes del dispositivo de multiplicación sobre las que actúan fuerzas variables (fuerzas cuyas direcciones relativas a la parte, varían)
35 aumenta la eficiencia de transmisión y en consecuencia, aumenta el par de salida y aumenta la eficiencia del dispositivo de multiplicación.

40 El uso de un material que tiene un elevado módulo de elasticidad para el cuerpo aumenta el par de salida y aumenta la eficiencia del dispositivo de multiplicación. El uso de un material que tiene un elevado módulo de elasticidad para el árbol donde está montado el cuerpo aumenta el par de salida y aumenta la eficiencia del dispositivo de multiplicación. El uso de un material que tiene un elevado módulo de elasticidad para el árbol de salida aumenta el par de salida y aumenta la eficiencia del dispositivo de multiplicación. El uso de un material que tiene un elevado módulo de elasticidad para las otras partes del dispositivo de multiplicación sobre las que actúan fuerzas variables (fuerzas cuya dirección relativa a la parte varía) aumenta el par de salida y aumenta la eficiencia del dispositivo de multiplicación.

45 El material del cuerpo es seleccionado de modo que su densidad o distribución de densidad, respectivamente, sea apropiada para proporcionar una energía motriz de salida requerida del dispositivo de multiplicación. Así, si se requiere una elevada energía motriz de salida, puede utilizarse un material con una elevada densidad, tal como acero. Sin embargo, puede ser dificultoso, y en consecuencia costoso, conformar el acero en la forma deseada, y así, para bajos requerimientos de energía de salida, pueden utilizarse alternativamente materiales termoplásticos.

50 Con el dispositivo de multiplicación, es posible que surjan vibraciones indeseables a partir de fuerzas no equilibradas dentro del dispositivo de multiplicación, como resultado de (a) una falta de simetría de los componentes del dispositivo de multiplicación alrededor del al menos un eje de salida, y/o (b) un componente del par de reacción que está dirigido perpendicular a al menos un eje de salida. Este problema podría solucionarse montando/fijando el dispositivo de multiplicación mediante medios de montaje del dispositivo de multiplicación, preferiblemente montando

rígidamente el dispositivo de multiplicación a un soporte fijo. Este soporte fijo puede ser uno o más de lo siguiente: el suelo, un piso, una pared, un techo, una cubierta, un contenedor, otro tipo de soporte, por ejemplo un estante, un bastidor o un almacén.

5 Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si una o más masas de equilibrio están montadas para la rotación alrededor del segundo eje. Las masas de equilibrio pueden tener un efecto para compensar al menos parcialmente esas fuerzas no equilibradas, reduciendo la falta de simetría y dando origen a una fuerza centrípeta que equilibra el par de reacción.

10 La rotación del cuerpo alrededor del primer eje está representada mediante un vector llamado el vector de giro. El vector de giro es idéntico al vector de velocidad angular asociado con el movimiento angular del cuerpo alrededor del primer eje. Mientras el cuerpo rota alrededor del primer eje, si se aplica un par al cuerpo en el sentido de aumentar el ángulo de inclinación, el cuerpo también comienza a rotar alrededor del segundo eje. Esta rotación del cuerpo alrededor del segundo eje está representada por un vector denominado en adelante el vector del movimiento de salida. El vector del movimiento de salida es idéntico al vector de velocidad angular asociado con el movimiento angular del cuerpo alrededor del segundo eje.

15 Cuando se construye un dispositivo de multiplicación, el ángulo entre el vector del par aplicado al cuerpo alrededor del tercer eje (= vector de par aplicado) y el vector de movimiento de salida puede no ser 90 grados a causa de tolerancias de producción. Si el ángulo entre el vector de par aplicado y el vector de movimiento de salida es cercano a 90 grados, aumenta la energía de salida del segundo eje y aumenta la eficiencia del dispositivo de multiplicación. La energía de salida y la eficiencia son maximizadas cuando este ángulo es 90 grados considerando
20 sólo este ángulo como parámetro.

Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si el dispositivo de multiplicación comprende medios de ajuste para ajustar el par aplicado al cuerpo alrededor del tercer eje.

25 Con el objeto de reducir la complejidad de una unidad de control del motor, puede utilizarse un mecanismo multifuncional para aplicar un par en el sentido de aumentar el ángulo de inclinación, para limitar el movimiento de reacción en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación y para ajustar el ángulo de inclinación al valor deseado según una velocidad de movimiento de salida/par de salida deseada/o y/o una velocidad de reacción/par de reacción deseada/o.

30 El mecanismo multifuncional comprende medios para aplicar par alrededor del eje de inclinación y medios para limitar mecánicamente la rotación del cuerpo alrededor del eje de inclinación en ambos sentidos entre valores de ángulo límite inferior y superior y medios para ajustar estos valores de ángulo durante el funcionamiento del motor para un valor de ángulo límite inferior elegido entre 0 y 90 grados (0 y 90 grados no están incluidos) y un valor de ángulo límite superior que está entre el valor de ángulo límite inferior elegido y 90 grados.

El mecanismo multifuncional preferiblemente comprende sensores de fuerza, par, posición, movimiento, velocidad y toque.

35 Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si los medios limitantes para limitar mecánicamente la rotación del cuerpo alrededor del eje de inclinación en ambos sentidos es al menos un tope o soporte.

40 Una opción adicional, que puede utilizarse o bien sola o bien en combinación con una o ambas de las soluciones anteriores para reducir vibraciones indeseables que surgen de fuerzas no equilibradas, sería proporcionar una pluralidad de dispositivos de multiplicación que pueden montarse en conjunto y hechos funcionar a sustancialmente la misma frecuencia pero en diferentes fases respectivas. En este caso, cualquiera de tales vibraciones es minimizada si las fases de los dispositivos de multiplicación están igualmente separadas. Así, para un sistema de cuatro dispositivos de multiplicación, las fases serían 0 grados, 90 grados, 180 grados y 270 grados.

45 La presente invención se extiende así a un conjunto de dispositivos de multiplicación del tipo mencionado anteriormente, en combinación con medios para lograr que cada uno de los dispositivos de multiplicación rote a sustancialmente la misma frecuencia rotatoria pero a diferentes ángulos de fase respectivos y medios para combinar la energía motriz de salida del dispositivo de multiplicación.

En tal caso, el número preferido de dispositivos de multiplicación es cuatro, y los dispositivos de multiplicación pueden disponerse ventajosamente en un conjunto de 2 x 2.

50 Cuando se utiliza un sistema de más de un dispositivo de multiplicación, para cada par de dispositivos de multiplicación, mantener la variación del ángulo entre los vectores del movimiento de salida de los dispositivos de multiplicación tan pequeña como sea posible durante el funcionamiento del dispositivo de multiplicación aumenta la energía de salida y aumenta la eficiencia.

Cuando se utiliza un sistema de más de un dispositivo de multiplicación, para al menos un par de dispositivos de multiplicación, la variación del ángulo entre los vectores del movimiento de salida de los dispositivos de multiplicación es preferiblemente menor que 5 grados durante el funcionamiento del dispositivo de multiplicación.

5 Cuando se utiliza un sistema de más de un dispositivo de multiplicación, para cada par de los dispositivos de multiplicación, mantener la variación de la distancia entre el centro de masa de los dispositivos de multiplicación tan pequeña como sea posible durante el funcionamiento de los dispositivos de multiplicación aumenta la energía de salida y aumenta la eficiencia.

10 La invención se extiende a un vehículo propulsado por la energía motriz de salida de un dispositivo de multiplicación o un ensamble de dispositivos de multiplicación como se definió anteriormente, tal como un vehículo de carretera, una aeronave o un vehículo acuático.

La invención se extiende además a un generador eléctrico propulsado por la energía motriz de salida de un dispositivo de multiplicación o un conjunto de dispositivos de multiplicación como se define anteriormente.

15 Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 mediante un dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, que comprende un segundo eje que es un eje de rotación de un segundo soporte rotatorio, siendo un primer eje un eje de rotación de un cuerpo que está dispuesto de forma rotatoria en un primer soporte rotatorio, mediante lo cual el primer eje puede rotar formando un ángulo de inclinación entre el primer eje y el segundo eje, un eje de inclinación perpendicular a dicho segundo eje, mediante el cual se aplica un par al primer eje alrededor del eje de inclinación en el sentido de aumentar el ángulo de inclinación y medios limitantes para limitar la rotación alrededor del eje de inclinación en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación, mediante lo cual el cuerpo rota a una velocidad angular mayor que una velocidad angular crítica de modo que resulta un ángulo de inclinación decreciente, mediante lo cual dicho segundo eje conectado sólidamente con el segundo soporte y/o dicho eje de inclinación es al menos un eje de salida.

25 Como, debido a la inercia del cuerpo, hay una demora entre el tiempo en el que el par alrededor del tercer eje es aplicado y el tiempo en el que la aplicación del par alrededor del tercer eje da origen a una velocidad de rotación deseada del primer eje alrededor del al menos un eje de salida del dispositivo de multiplicación, es ventajoso en ciertas circunstancias reducir esta demora proporcionando un par externo adicional al cuerpo alrededor del segundo eje del dispositivo de multiplicación, para iniciar o acelerar esta rotación del primer eje alrededor del al menos un eje de salida del dispositivo de multiplicación.

30 En consecuencia, se proporciona una realización preferida de los modos 5 a 12 si el método comprende adicionalmente proporcionar un par externo adicional al cuerpo alrededor del segundo eje para aplicar una aceleración inicial.

35 La aplicación de un par externo adicional, al cuerpo alrededor del al menos un eje de salida del dispositivo de multiplicación otorga una aceleración inicial al cuerpo alrededor del al menos un eje de salida del dispositivo de multiplicación. Esto puede lograrse, por ejemplo rotando físicamente un árbol de salida del dispositivo de multiplicación, o bien de forma manual o bien mediante un motor adicional.

Se proporciona una realización preferida de los modos 5 a 12 si el método comprende adicionalmente controlar la fuente de energía motriz con el objeto de lograr que el cuerpo rote alrededor del primer eje a dicha velocidad angular mayor que la velocidad angular crítica del cuerpo.

40 Se proporciona una realización preferida de los modos 5 a 12 si el método comprende adicionalmente seleccionar un ángulo de inclinación mayor que 10 grados y menor que 80 grados, representando este ángulo de inclinación dicho ángulo de inclinación seleccionado.

Se proporciona una realización preferida de los modos 5 a 12 si el método comprende adicionalmente controlar la magnitud del par aplicado al cuerpo alrededor el tercer eje.

45 Se proporciona una realización preferida de los modos 5 a 12 si el método comprende adicionalmente limitar la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje de modo que el ángulo de inclinación del primer eje con respecto al segundo eje es mayor que 10 grados y menor que 80 grados.

50 Se proporciona una realización preferida de los modos 5 a 12 si el método comprende ajustar adicionalmente el ángulo de inclinación. Es posible que el método comprenda además generar una velocidad angular de salida deseada alrededor de uno del al menos un eje de salida mediante el ajuste del ángulo de inclinación. Así, después de seleccionar una velocidad de salida deseada alrededor de uno del al menos un eje de salida, es decir, seleccionar una velocidad de salida deseada alrededor del segundo eje o alrededor del tercer eje, se ajusta el ángulo de inclinación dependiendo de la velocidad de salida seleccionada. Es también posible que el método

comprenda además generar un par de salida deseado alrededor del al menos un eje de salida mediante el ajuste del ángulo de inclinación. Así, después de seleccionar un par de salida deseado alrededor del al menos un eje de salida, es decir, seleccionar un par de salida deseado alrededor del segundo eje o alrededor del tercer eje, se ajusta el ángulo de inclinación dependiendo del par de salida seleccionado.

5 Se proporciona una realización preferida de los modos 5 a 12 si el método comprende ajustar adicionalmente la velocidad del cuerpo alrededor del primer eje. Es posible que el método comprenda además generar una velocidad angular de salida deseada alrededor de uno del al menos un eje de salida mediante el ajuste de la velocidad angular del cuerpo alrededor del primer eje. Así, después de seleccionar una velocidad de salida deseada alrededor de uno del al menos un eje de salida, es decir, seleccionar una velocidad de salida deseada alrededor del segundo eje o
10 alrededor del tercer eje, la velocidad del cuerpo alrededor del primer eje es ajustada dependiendo de la velocidad de salida seleccionada. Es también posible que el método comprenda además generar un par de salida deseado alrededor de uno del al menos un eje de salida mediante el ajuste de la velocidad angular del cuerpo alrededor del primer eje. Así, después de seleccionar un par de salida deseado alrededor de uno del al menos un eje de salida, es decir, seleccionar un par de salida deseado alrededor del segundo eje o alrededor del tercer eje, la velocidad del cuerpo alrededor del primer eje es ajustada dependiendo del par de salida seleccionado.

Se proporciona una realización preferida de los modos 5 a 12 si el método comprende ajustar adicionalmente el par aplicado al cuerpo alrededor del tercer eje. Es posible que el método comprenda además generar una velocidad angular de salida deseada alrededor de uno del al menos un eje de salida mediante el ajuste del par aplicado al cuerpo alrededor del tercer eje. Así, después de seleccionar una velocidad de salida deseada alrededor de uno del al menos un eje de salida, es decir, seleccionar una velocidad de salida deseada alrededor del segundo eje o
20 alrededor del tercer eje, el par aplicado al cuerpo alrededor del tercer eje es ajustado dependiendo de la velocidad de salida seleccionada. Es también posible que el método comprenda además generar un par de salida deseado alrededor de uno del al menos un eje de salida mediante el ajuste del par aplicado al cuerpo alrededor del tercer eje. Así, después de seleccionar un par de salida deseado alrededor de uno del al menos un eje de salida, es decir, seleccionar un par de salida deseado alrededor del segundo eje o alrededor del tercer eje, el par aplicado al cuerpo alrededor del tercer eje es ajustado dependiendo del par de salida seleccionado.

Se proporciona una realización preferida de los modos 5 a 12 si la limitación de la rotación del cuerpo alrededor del tercer eje comprende además evitar una rotación del cuerpo alrededor del tercer eje en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación.

30 Se proporciona una realización preferida de los modos 5 a 12 si el método comprende adicionalmente utilizar parte de la energía de rotación proporcionada para llevar a cabo la rotación del cuerpo alrededor del primer eje en el régimen de estado estacionario. En este caso, la cantidad de energía así utilizada es preferiblemente suficiente para superar las pérdidas de energía que surgen de la fricción debida a la rotación del cuerpo alrededor del primer eje.

Aumentar la rigidez del bastidor aumenta la energía de salida y aumenta la eficiencia. Un plano del bastidor se define como un plano que pasa a través de cualquiera de tres puntos no lineales en el bastidor. Para todos los posibles pares de planos del bastidor, el mantenimiento de la variación del ángulo entre el vector normal del primer plano y el vector normal del segundo plano tan pequeña como sea posible durante el funcionamiento del dispositivo de multiplicación aumenta la energía de salida y aumenta la eficiencia considerando sólo este ángulo como un parámetro. Así, se proporciona una realización preferida de los modos 5 a 12 si el método comprende
35 adicionalmente mantener la variación de un ángulo entre un vector normal de un primer plano del bastidor y un vector normal de un segundo plano del bastidor menor que 5 grados.

La reducción de la oscilación del árbol de salida en relación con el bastidor durante el funcionamiento del dispositivo de multiplicación aumenta la energía de salida y aumenta la eficiencia. Para todos los posibles planos de bastidor, el mantenimiento de la variación del ángulo entre el vector del movimiento de salida y el vector normal del plano del bastidor tan pequeña como sea posible durante el funcionamiento del dispositivo de multiplicación aumenta la energía de salida y aumenta la eficiencia. Para todos los posibles planos de bastidor, si el ángulo entre el vector del movimiento de salida y el vector normal del plano del bastidor no cambia durante el funcionamiento del dispositivo de multiplicación, la eficiencia es máxima considerando sólo este ángulo como un parámetro. En consecuencia, se proporciona una realización preferida de los modos 5 a 12 si el método comprende además mantener la variación de un ángulo entre un vector de la velocidad angular de salida alrededor del al menos un eje de salida y un vector normal de un plano del bastidor menor que 5 grados.

Se proporciona una realización preferida de los modos 5 a 12 si el método comprende adicionalmente mantener la variación de un ángulo entre el vector de velocidad angular del movimiento angular del cuerpo alrededor del primer eje y un vector normal de un plano del cuerpo menor que 5 grados.

55 Para el método de proporcionar rotación según la invención, es importante considerar una velocidad angular llamada "velocidad de salida crítica" alrededor del segundo eje. La importancia de la velocidad de salida crítica alrededor del segundo eje se entiende cuando se conecta una carga al árbol de salida a lo largo del segundo eje. Si la resistencia

de la carga conectada al árbol de salida a lo largo del segundo eje logra que la velocidad del movimiento de salida alrededor del segundo eje disminuya por debajo de la velocidad de salida crítica alrededor del segundo eje, el par de reacción cesará y la eficiencia del motor se deteriora. La velocidad de salida crítica alrededor del segundo eje puede compararse con la velocidad de ralentí de un motor de automóviles.

5 La “velocidad de salida crítica” alrededor del segundo eje puede determinarse como sigue:

1. Hacer girar el cuerpo alrededor del primer eje a una velocidad angular mayor que la velocidad angular crítica de modo que exista el movimiento de reacción.

2. Frenar la rotación del cuerpo alrededor del segundo eje hasta que el movimiento de reacción se detenga. La velocidad alrededor del segundo eje en el punto en donde el movimiento de reacción se detiene es llamada la
10 velocidad de salida crítica alrededor del segundo eje.

La velocidad de salida crítica alrededor del segundo eje varía con la velocidad de giro, es decir, la velocidad angular del cuerpo alrededor del primer eje, la magnitud del par aplicado y el ángulo de inclinación. Otros parámetros de influencia incluyen la estructura del sistema y condiciones ambientales.

15 La eficiencia de la transmisión también depende del curvado del cuerpo en relación con el primer eje durante el funcionamiento del dispositivo de multiplicación. Se define un plano del cuerpo como un plano que pasa a través de cualquiera de tres puntos no lineales en el cuerpo. Para todos los posibles planos del cuerpo, el mantenimiento de la variación del ángulo entre el vector de giro y el vector normal del plano del cuerpo tan pequeña como sea posible durante el funcionamiento aumenta la energía de salida y aumenta la eficiencia. Para todos los posibles planos del cuerpo, si el ángulo entre el vector de giro y el vector normal del plano del cuerpo no cambia durante el
20 funcionamiento del dispositivo de multiplicación, la eficiencia es máxima considerando sólo este ángulo como parámetro.

Se proporciona una realización preferida de los modos 5 a 12 si el método comprende además la siguiente etapa: ajustar un par aplicado al cuerpo alrededor del segundo eje de modo que se alcanza un ángulo de inclinación constante o decreciente. En otras palabras, la magnitud del par aplicado alrededor del segundo eje, por ejemplo,
25 mediante una carga aplicada a un árbol de salida a lo largo del segundo eje, es elegida de modo que se alcanza un ángulo de inclinación constante o decreciente, es decir, de modo que la magnitud del par de reacción sea igual a o mayor que la magnitud del par aplicado al cuerpo alrededor del tercer eje.

La reducción de las resistencias de fricción del dispositivo de multiplicación aumenta la eficiencia. Por ejemplo, utilizando rodamientos magnéticos y/o utilizando medios lubricantes tales como aceite o grasa para lubricar los
30 rodamientos y/o colocando el dispositivo de multiplicación en un recipiente al vacío se reducen las resistencias de fricción.

Como la energía proporcionada por el dispositivo de multiplicación es el producto del par de salida y la velocidad del movimiento de salida o el producto del par de reacción y la velocidad de reacción, se sigue que, con el objeto de maximizar esta energía, será necesario seleccionar una velocidad de giro alrededor del primer eje, una magnitud del
35 par aplicado alrededor del tercer eje y un ángulo de inclinación para el que el producto del par de salida y la velocidad del movimiento de salida o el producto del par de reacción y la velocidad de reacción se maximiza.

Se proporciona una realización preferida de los modos 1 a 4 si el dispositivo de multiplicación comprende medios para ajustar la velocidad de giro, medios para ajustar el par aplicado y medios para ajustar el ángulo de inclinación. En este caso, pueden proporcionarse medios para seleccionar una velocidad del movimiento de salida deseada y/o
40 un par de salida deseado del dispositivo de multiplicación y ajustar la velocidad de giro, el par aplicado y el ángulo de inclinación en consecuencia. También pueden proporcionarse medios para seleccionar una velocidad de reacción deseada y/o un par de reacción deseado del dispositivo de multiplicación y ajustar la velocidad de giro, el par aplicado y el ángulo de inclinación en consecuencia.

Se proporciona una realización preferida del modo 13 si el cuerpo puede acoplarse a un motor rotatorio separado y desacoplarse del motor rotatorio separado.
45

Se proporciona una realización preferida del modo 13 si el dispositivo de ensayo comprende medios de acoplamiento para proporcionar el acoplamiento entre el cuerpo y el motor rotatorio separado mediante lo cual los medios de acoplamiento están conformados como acoplamiento de tipo enchufe (plug-in).

Se proporciona una realización preferida del modo 13 si el cuerpo es impulsado por un motor rotatorio separado temporalmente, preferiblemente inicialmente.
50

Se proporciona una realización preferida del modo 13 si el dispositivo de ensayo comprende uno o más medios de

medición para medir uno o más de los siguientes parámetros: una velocidad angular del cuerpo alrededor del eje de giro, un sentido de rotación del cuerpo alrededor del eje de giro, una velocidad angular del árbol de salida, un sentido de rotación del árbol de salida, una velocidad angular alrededor del eje de inclinación, un sentido de rotación alrededor del eje de inclinación, el transcurso de tiempo de uno o más de los parámetros precedentes.

- 5 Se proporciona una realización preferida del modo 13 si el cuerpo puede intercambiarse para la variación de uno o más de los siguientes parámetros del cuerpo: masa, geometría, módulo de elasticidad, momento de inercia, distribución de densidad.
- Se proporciona una realización preferida del modo 13 si la posición del cuerpo a lo largo del eje de giro es variable.
- 10 Se proporciona una realización preferida del modo 13 si la posición del cuerpo con respecto a la formación del brazo de palanca es variable.
- Se proporciona una realización preferida del modo 13 si el dispositivo de ensayo comprende medios limitantes para limitar el movimiento del eje de giro alrededor del eje de inclinación en un ángulo de inclinación final.
- Se proporciona una realización preferida del modo 13 si el dispositivo de ensayo comprende medios de medición de fuerza para medir una fuerza ejercida por los medios de soporte del cuerpo en el ángulo de inclinación final.
- 15 Se proporciona una realización preferida del modo 13 si los medios limitantes comprenden un tope dispuesto en el árbol de salida o en los medios de soporte del cuerpo y que actúa conjuntamente con el árbol de salida y/o los medios de soporte del cuerpo.
- Se proporciona una realización preferida del modo 13 si el dispositivo de ensayo comprende medios para aplicar un par alrededor del eje de inclinación mediante lo cual el par aplicado es independiente de la masa del cuerpo.
- 20 El término "mecanismo basculante" según los modos 13 y 14 significa cualquier clase de dispositivo de soporte para soportar el cuerpo, tales como suspensiones Cardán.
- Se proporciona una realización preferida del modo 14 si el método comprende además determinar la velocidad angular del cuerpo alrededor del eje de giro cuando no se observa rotación del eje de giro alrededor del eje de inclinación, siendo la velocidad angular determinada la velocidad angular crítica.
- 25 Se proporciona una realización preferida del modo 14 si el método comprende además determinar la velocidad angular crítica de un cuerpo para diferentes valores de uno o más de los siguientes parámetros: el brazo de palanca, el ángulo de inclinación inicial del eje de giro.
- Se proporciona una realización preferida del modo 14 si el método comprende además determinar la relación de la velocidad angular del cuerpo alrededor del eje de giro a la velocidad angular del árbol de salida dependiente de varios parámetros, particularmente dependiente del ángulo de inclinación inicial o final.
- 30 Estas, así como características y ventajas adicionales de la invención se apreciarán mejor mediante la lectura de la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferidas a modo de ejemplo de la presente, tomadas en conjunción con los dibujos adjuntos, en los que:
- 35 la figura 1 ilustra una vista esquemática de un dispositivo de multiplicación según una realización preferida de la presente invención;
- la figura 2 es un diagrama que ilustra la orientación relativa de los ejes de rotación de los componentes del dispositivo de multiplicación de la figura 1;
- la figura 3 es un diagrama que ilustra la dirección en la que se aplica el par para proporcionar la energía motriz de salida del dispositivo de multiplicación de la figura 1;
- 40 la figura 4 muestra un esquema de aplicación alternativa de par;
- la figura 5 muestra una realización de un aparato de ensayo;
- la figura 6 muestra otra realización de un aparato de ensayo;
- la figura 7 muestra una realización de medios limitantes, como detalle de la figura 6;

la figura 8 muestra otra realización de medios limitantes;

la figura 9 muestra una tercera realización de medios limitantes;

la figura 10 muestra una realización de un conjunto de dispositivos de multiplicación;

la figura 11 muestra un esquema de un campo de fuerza;

5 la figura 12 muestra un esquema de vectores; y

la figura 13 muestra un esquema de la longitud de un brazo de conexión de un cuerpo.

Haciendo referencia a la figura 1, un dispositivo 1 de multiplicación comprende un cuerpo 2 en forma de rueda cilíndrica sólida que está montada coaxialmente sobre un árbol 3 de rotación para la rotación con el mismo alrededor de un primer eje 4. El árbol 3 de rotación está montado dentro de un mecanismo 5 basculante interior por medio de rodamientos 6 internos. El mecanismo 5 basculante interior está montado dentro de un mecanismo 7 basculante exterior para la rotación limitada del mecanismo 5 basculante interior alrededor de un eje 16 de inclinación mediante rodamientos 8 internos, y el segundo mecanismo 7 basculante, a su vez, está montado dentro de un bastidor 9 por medio de rodamientos 10 del bastidor de modo que pueda rotar en relación con el bastidor 9 alrededor de un segundo eje 11 que constituye el eje de salida del dispositivo 1 de multiplicación. Adicionalmente o alternativamente al segundo eje 11, el eje 16 de inclinación constituye un eje de salida del dispositivo 1 de multiplicación.

Se hace rotar el árbol 3 de rotación de la rueda 2 alrededor del primer eje 4 por medio de un motor 12 eléctrico o cualquier otra fuente de energía motriz de entrada. El motor 12 eléctrico puede alimentarse mediante una batería. El árbol 3 de rotación está montado con un ángulo de inclinación θ en relación con el segundo eje 11 del dispositivo 1 de multiplicación, por lo cual el ángulo de inclinación θ es mayor que 0 grados y menor que 90 grados.

20 Esto puede apreciarse más claramente en la figura 2. El eje rotacional de la rueda 2 está a lo largo del primer eje 4. La rueda 2 está montada de modo que el primer eje 4 y el segundo eje 11 se intersectan en el centro de masa CM de la rueda 2. Se indica en la figura 2 un plano 13 que se extiende sobre el segundo eje 11 y el eje 16 de inclinación, para ilustrar más claramente la ubicación de la rueda 2 en el espacio, y se muestran los tres vectores a lo largo de las direcciones de un sistema de coordenadas cartesianas tridimensional puramente para ilustrar la orientación relativa de los ejes 4, 11, 16.

En el dispositivo 1 de multiplicación mostrado en la figura 1, un gato 15 hidráulico sirve para aplicar un par al árbol 3 de rotación, y por lo tanto también a la rueda 2, alrededor de un tercer eje 16, definido como el eje de inclinación, que es perpendicular tanto al primer eje 4 como al segundo eje 11. El par aplicado por el gato 15 está dirigido en el sentido de aumentar el ángulo de inclinación θ .

30 El par aplicado da origen a una rotación del primer eje 4 alrededor del segundo eje 11 del dispositivo 1 de multiplicación.

El gato 15 hidráulico sirve adicionalmente para evitar que el primer eje 4 rote alrededor del eje 16 de inclinación en el sentido opuesto al del par aplicado, es decir, de modo que el ángulo de inclinación θ disminuye.

En el funcionamiento del dispositivo 1 de multiplicación, primero se hace rotar la rueda 2 alrededor del primer eje 4 hasta que excede una velocidad de rotación crítica predeterminada ω_c . Entonces se acciona el gato 15 hidráulico para aplicar un par a la rueda 2 indirectamente por medio de los rodamientos 6 internos y al árbol 3 de rotación alrededor del eje 16 de inclinación y en el sentido de aumentar el ángulo de inclinación θ . Esto da origen a una rotación del primer eje 4 alrededor del eje 11 de salida. Sin embargo, en virtud de la rotación de la rueda 2 por encima de la velocidad de rotación crítica ω_c alrededor del primer eje 4, se genera un par de reacción que tiene un componente también alrededor del eje 16 de inclinación pero en el sentido opuesto, es decir en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación θ . Este par de reacción causa que el primer eje 4 rote alrededor del eje 16 de inclinación en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación θ . Sin embargo, este movimiento se evita posteriormente mediante el gato 15 hidráulico que actúa como un tope o soporte, frenando la rotación del árbol 3 de rotación. Como resultado, aumenta la velocidad de rotación ω_{spin} de la rueda 2, la velocidad de rotación del árbol 3 de rotación, la velocidad de rotación del primer mecanismo 5 basculante y la velocidad de rotación ω_{out} del segundo mecanismo 7 basculante alrededor del segundo eje 11 que es un eje de salida. En esta etapa, puede aplicarse una carga a este eje de salida del dispositivo 1 de multiplicación.

El funcionamiento del gato 15 hidráulico es controlado por una unidad 17 de control que se alimenta con señales de posición desde un sensor (no mostrado) que está montado sobre el gato 15 hidráulico. Las señales de control generadas por la unidad 17 de control en respuesta a las señales de posición afectan a la presión hidráulica en el

gato 15 hidráulico para ocasionar que el mecanismo basculante interno 5 rote en relación con el mecanismo 7 basculante externo hasta el ángulo de inclinación θ deseado.

5 La unidad 17 de control proporciona señales de control para controlar la velocidad de rotación de la rueda 2, el ángulo de inclinación θ y la magnitud del par aplicado. Como se indicó anteriormente, el ángulo de inclinación θ es controlado gracias al gato 15 hidráulico. Controlando estos parámetros, es posible controlar la velocidad de rotación de salida ω_{out} del dispositivo 1 de multiplicación.

Un mecanismo de retroalimentación en forma de correa 18, alternador 19, cableado 20 eléctrico y la unidad 17 de control pueden utilizarse para alimentar una parte de la energía motriz de salida suministrada en el segundo eje 11 nuevamente al motor 12 eléctrico.

10 El eje 16 de orientación alrededor del que se aplica el par y el sentido del par están ilustrados en la figura 3, en la que puede observarse que la rueda 2 rota alrededor del primer eje 4 que forma un ángulo de inclinación θ con respecto al segundo eje 11 (= de salida). El par aplicado por el gato 15 hidráulico es aplicado en la dirección indicada mediante las flechas 21, y el par de reacción surge en la dirección indicada mediante la flecha 22.

15 Aunque en la realización preferida el primer eje 4 y el segundo eje 11 se intersecan en el centro de masa CM de la rueda 2, se contemplan disposiciones alternativas en las que el primer eje 4 y el segundo eje 11 no se intersecan, en cuyo caso o bien el primer eje 4 o bien el segundo eje 11, o ninguno de los ejes 4 y 11 primero y segundo pueden pasar a través del centro de masa CM de la rueda 2.

20 Se apreciará que, a pesar de que el dispositivo 1 de multiplicación de la realización preferida se ilustra con su eje 11 de salida horizontal, el dispositivo 1 de multiplicación podría funcionar con su eje 11 de salida en cualquier orientación deseada.

A fin de determinar y estimar, respectivamente, parámetros para el diseño y funcionamiento de un dispositivo de multiplicación tal como se describe en la descripción anterior en combinación con las figuras 1 a 3, se ha desarrollado un dispositivo de ensayo. El diseño de este dispositivo de ensayo y su función operacional se describe en el dibujo esquemático de la figura 4.

25 La característica esencial de este esquema es que un par es aplicado al eje 16 de inclinación por medio de un cuerpo 2 montado excéntricamente, por ejemplo, una rueda cilíndrica sólida, con masa m , y que no requiere un dispositivo externo para aplicar un par, tal como el gato 15 tal como se muestra en la figura 1. El esquema mostrado en la figura 4 constituye una modificación y simplificación en comparación con el esquema del dispositivo de multiplicación mostrado en la figura 3 porque no se requiere un dispositivo externo para aplicar un par. Otra característica significativa del esquema mostrado en la figura 4 son los medios limitantes para limitar la rotación del eje 4 de giro alrededor del eje 16 de inclinación.

El dispositivo de ensayo puede diseñarse en diferentes realizaciones. Dos realizaciones diferentes del dispositivo de ensayo se muestran en las figuras 5 y 6 que se describen en detalle en lo siguiente.

35 Es el objeto del dispositivo de ensayo proporcionar una posibilidad para una variación de parámetros mientras se miden otros parámetros. Con este fin, las realizaciones concretas del dispositivo de ensayo tienen dispositivos especiales, por ejemplo, dispositivos de acoplamiento que permiten el uso de cuerpos rotacionales diferentes, dispositivos de ajuste para el ajuste de un brazo de palanca, medios limitantes ajustables y diversas unidades medidoras para la medición de parámetros tales como velocidades de rotación y direcciones de rotación de los diversos ejes de rotación.

40 La figura 4 ilustra de manera esquemática una situación en donde se utiliza la masa m del cuerpo 2 para aplicar un par alrededor del eje 16 de inclinación. El cuerpo 2 rota alrededor del primer eje 4 que constituye un eje de giro. El eje 4 de giro forma un ángulo de inclinación θ con respecto al segundo eje vertical 11 que constituye el eje de salida. El eje 4 de giro puede rotar alrededor del eje 16 de inclinación que es perpendicular tanto al eje 4 de giro como al eje 11 de salida vertical. Asimismo, el eje 4 de giro puede rotar alrededor del eje 11 de salida. Por lo tanto, el cuerpo 2 puede rotar alrededor de tres ejes diferentes, concretamente, alrededor del eje 4 de giro, alrededor del eje 11 de salida vertical, y alrededor del eje 16 de inclinación horizontal.

50 El cuerpo 2 está montado sobre el primer eje 4 alejado de un punto de intersección IP donde se intersecan el primer eje 4, el eje 11 de salida, y el eje 16 de inclinación. El centro de masa CM del cuerpo 2 está a una distancia l desde el eje 16 de inclinación, constituyendo así un brazo de palanca de longitud l . El cuerpo 2 está sometido a la gravedad, causando una fuerza gravitacional

$$F_G = m g$$

(ec. 1)

que actúa sobre el centro de masa CM del cuerpo 2, donde g es la aceleración de la gravedad con una magnitud promedio de $9,81 \text{ m/s}^2$. La fuerza F_G aplicada al cuerpo 2 ejerce un par T alrededor del eje 16 de inclinación. La magnitud del par T es

$$T = F_G \ell \sin \theta = m g \ell \sin \theta \quad (\text{ec. 2}).$$

- 5 El par T es aplicado en la dirección indicada mediante las flechas 21. Si el cuerpo 2 rota alrededor del primer eje 4 con una velocidad angular ω_{spin} mayor que una velocidad angular crítica ω_c , se origina un par de reacción en la dirección indicada mediante la flecha 22. Como la magnitud del par de reacción es mayor que la magnitud del par T que se origina a partir del peso del cuerpo, el par de reacción ocasiona que el ángulo de inclinación θ disminuya. Si el cuerpo 2 rota alrededor del primer eje 4 con una velocidad angular ω_{spin} menor que una velocidad angular crítica ω_c , la magnitud del par de reacción es menor que la magnitud del par T que se origina a partir del peso del cuerpo, y el ángulo de inclinación θ aumenta.

15 La rotación del cuerpo 2 alrededor del eje 4 de giro, del eje 11 de salida, y del eje 16 de inclinación se ha medido y registrado en experimentos que serán documentados más adelante por medio de valores de medición. Se asume que la rotación del eje 4 de giro alrededor del eje 11 de salida está relacionada a un efecto de precesión bien conocido en la teoría de cuerpos rígidos.

Aparato de ensayo de la figura 5

La figura 5 muestra una realización de un aparato de ensayo que trabaja según el esquema mostrado en la figura 4.

20 La diferencia esencial del aparato de ensayo de la figura 5 en comparación con la realización del dispositivo de multiplicación mostrado en la figura 1 es que el cuerpo 2 del aparato de ensayo mostrado en la figura 5 está montado excéntricamente constituyendo un brazo de palanca de una longitud ℓ . El término “excéntrico” aquí significa que el centro de masa CM del cuerpo 2 no está ubicado en el punto de intersección IP como es el caso con el cuerpo mostrado en las figuras 1 a 3. Por lo tanto, el cuerpo 2 está sometido a la gravedad, es decir, el cuerpo 2 con masa m aplica un par alrededor del eje 16 de inclinación.

25 El aparato de ensayo comprende un cuerpo 2, por ejemplo, una rueda cilíndrica sólida, que está montada coaxialmente sobre un árbol 3 de rotación para la rotación con el mismo. El eje longitudinal del árbol 3 de rotación está dispuesto a lo largo del eje 4 de giro. El árbol 3 de rotación está montado de forma rotatoria dentro de una suspensión 5 Cardán interior por medio de rodamientos 6 internos. La suspensión 5 Cardán interior está montada dentro de una suspensión 7 Cardán exterior para la rotación alrededor del eje 16 de inclinación por medio de rodamientos 8 externos. La segunda suspensión 7 Cardán está montada sobre un árbol 110 de salida cuyo eje longitudinal está dispuesto a lo largo del eje 11 de salida vertical.

30 El árbol de salida vertical 110 está soportado por un rodamiento 40 de modo que el árbol 110 de salida puede rotar alrededor de su eje longitudinal. El rodamiento 40 está unido a un soporte 41, por ejemplo, un trípode, para mantener el árbol 110 de salida a lo largo del eje 11 de salida vertical. El soporte está montado en el suelo, por ejemplo, mediante tornillos.

35 El eje 4 de giro forma un ángulo de inclinación θ con respecto al eje 11 de salida. El cuerpo 2 está montado sobre el primer eje 4 alejado del punto de intersección IP del eje 4 de giro, el eje 11 de salida, y el eje 16 de inclinación. El centro de masa CM del cuerpo 2 está a una distancia ℓ del eje 3 de inclinación. El cuerpo 2 está sometido a la gravedad, ocasionando una fuerza gravitacional $F_G = m g$ que actúa sobre el centro de masa CM del cuerpo 2, donde m es la masa del cuerpo 2 y g es la aceleración de la gravedad con una magnitud promedio de $9,81 \text{ m/s}^2$. La fuerza F_G aplicada al cuerpo 2 ejerce un par T alrededor del eje 16 de inclinación. La magnitud del par T es $T = F_G \ell \sin \theta = m g \ell \sin \theta$.

45 El árbol 3 de rotación comprende medios 33 de acoplamiento para el acoplamiento fácil a una fuente externa de energía motriz. La fuente externa de energía motriz, por ejemplo, un berbiquí o un taladro, se utiliza para girar el cuerpo 2 a una velocidad angular ω_{spin} alrededor del eje 4 de giro. Sin embargo, también es posible proporcionar la velocidad angular ω_{spin} del cuerpo 2 por medio de cualquier otra fuente de energía motriz de entrada, por ejemplo, mediante un motor eléctrico que está dispuesto de manera ajustada sobre el cuerpo 2 o el árbol 3 de rotación.

50 El aparato de ensayo adicionalmente comprende medios 210 limitantes para limitar el intervalo admisible del ángulo de inclinación θ . Los medios 210 limitantes (no mostrados en detalle en la figura 5) pueden estar integrados dentro de los rodamientos 8 externos. Los medios 210 limitantes limitan el movimiento pivotante del árbol 3 de rotación hasta un intervalo de pivote entre un ángulo de inclinación mínimo θ_{min} y un ángulo de inclinación máximo θ_{max} .

Se hace rotar el cuerpo 2 a una velocidad angular ω_{spin} . La velocidad angular del cuerpo 2 en combinación con el par

ejercido por el cuerpo 2 alrededor del eje 16 de inclinación causa una rotación del árbol 110 de salida.

Para el cuerpo 2 existe una velocidad angular crítica ω_c que es dependiente del ángulo de inclinación θ . El objetivo es determinar la velocidad angular crítica ω_c del cuerpo 2. Para un ángulo de inclinación θ entre 0° y 90° , la velocidad angular crítica ω_c puede determinarse como sigue. Se asume que el cuerpo 2 rota con una velocidad angular ω_{spin} alrededor del eje 4 de giro. Si la velocidad angular ω_{spin} da como resultado una rotación del árbol 3 de rotación alrededor del eje 16 de inclinación en el sentido de aumentar el ángulo de inclinación θ , es decir, en la figura 5 hacia abajo, la velocidad angular ω_{spin} del cuerpo 2 es menor que la velocidad angular crítica ω_c . Si la velocidad angular ω_{spin} da como resultado una rotación del árbol 3 de rotación alrededor del eje 16 de inclinación en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación θ , es decir, en la figura 5 hacia arriba, la velocidad angular ω_{spin} del cuerpo 2 es mayor que la velocidad angular crítica ω_c . Si la velocidad angular ω_{spin} no da como resultado una rotación del árbol 3 de rotación alrededor del eje 16 de inclinación, la velocidad angular ω_{spin} del cuerpo 2 es igual a la velocidad angular crítica ω_c .

La determinación de la velocidad angular crítica ω_c puede resumirse en el siguiente programa:

Etapa 1: Se elige un valor ω_{spin} de la velocidad angular del cuerpo 2 alrededor del eje 4 de giro.

15 Etapa 2: Si la velocidad angular ω_{spin} da como resultado una rotación alrededor del eje 16 de inclinación en el sentido de aumentar el ángulo de inclinación θ , pasar a la etapa 3;

Si la velocidad angular ω_{spin} da como resultado una rotación alrededor del eje 16 de inclinación en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación θ , pasar a la etapa 4;

20 Si la velocidad angular ω_{spin} no da como resultado una rotación alrededor del eje 16 de inclinación, la velocidad angular crítica ω_c del cuerpo 2 es determinada: $\omega_c = \omega_{spin}$.

Etapa 3: Aumentar el valor de ω_{spin} y pasar a la etapa 2.

Etapa 4: Disminuir el valor de ω_{spin} y pasar a la etapa 2.

25 La velocidad angular crítica ω_c es dependiente de la geometría y masa del cuerpo 2, de la distribución de densidad del material del cuerpo, del ángulo de inclinación θ entre el eje 4 de giro y el eje 11 de salida, de la distancia l , es decir, la magnitud del par, y de ciertas condiciones ambientales tales como temperatura y humedad ambiente.

30 Una ventaja del aparato de ensayo de la figura 5 es que el cuerpo 2 puede posicionarse fácilmente en cualquiera de dos modos diferentes. En un primer modo, el cuerpo 2 puede estar montado excéntricamente sobre el árbol 3 de rotación, como se muestra en la figura 5, de modo que el centro de masa CM del cuerpo 2 está a una distancia l desde el punto de intersección IP. En esta situación, la masa m del cuerpo 2 aplica un par T de magnitud $T = m g l \sin \theta$ alrededor del eje 16 de inclinación. En un modo alternativo, el cuerpo 2 puede estar montado sobre el árbol 3 de rotación de modo que el centro de masa CM del cuerpo 2 está en el punto de intersección IP, que corresponde al caso extremo $l = 0$. En esta situación, la masa m del cuerpo 2 no aplica un par alrededor del eje 16 de inclinación. En este caso alternativo, a fin de aplicar un par alrededor del eje 16 de inclinación, es necesario proporcionar un medio de aplicación de par externo, por ejemplo, un gato que aplica un par constante sobre el intervalo completo de ángulos de inclinación.

Aparato de ensayo de la figura 6

La figura 6 muestra otra realización de un aparato de ensayo que trabaja según el esquema mostrado en la figura 4.

40 El aparato de ensayo de la figura 6 es similar al aparato de ensayo de la figura 5, excepto por las suspensiones 5 y 7 Cardán. En lugar de las suspensiones 5 y 7 Cardán, el aparato de ensayo de la figura 6 comprende un árbol 110 de salida y un brazo 30 de pivote. El brazo 30 de pivote está montado de forma pivotante sobre el árbol 110 de salida por medio de un pivote 31 de modo que el brazo 30 de pivote puede rotar alrededor del eje 16 de inclinación. El brazo 30 de pivote está alargado hacia abajo más allá del pivote 31 a fin de permitir que el brazo 30 de pivote actúe conjuntamente con los medios 210 limitantes. En relación a la masa del brazo 30 de pivote, el centro de masa del brazo 30 de pivote está posicionado con respecto al pivote 31 de modo que no se ejerce par solo sobre el brazo 30 de pivote.

45 El brazo 30 de pivote comprende un rodamiento 32 por medio del cual el cuerpo 2 puede rotar alrededor del eje 4 de giro que constituye el eje longitudinal del brazo 30 de pivote. La posición del rodamiento 32 puede variarse a lo largo del brazo de pivote para ajustar la longitud l del brazo de pivote.

El aparato de ensayo adicionalmente comprende medios 210 limitantes para limitar el intervalo admisible del ángulo de inclinación θ . Los medios 210 limitantes pueden estar establemente conectados al árbol 110 de salida o al brazo 30 de pivote. Los medios 210 limitantes limitan el movimiento del brazo 30 de pivote hasta un intervalo de pivote entre un ángulo de inclinación mínimo θ_{\min} y un ángulo de inclinación máximo θ_{\max} . La figura 7 muestra una vista detallada de los medios 210 limitantes.

Preferiblemente, los elementos de los aparatos de ensayo de las figuras 5 y 6, en particular el cuerpo 2, están hechos de un material que tiene un elevado módulo de elasticidad, que está preferiblemente por encima de 70 GPa, por ejemplo, un material rígido tal como acero o aluminio.

Medios limitantes

La figura 7 muestra una primera realización de medios 210 limitantes para limitar el intervalo del ángulo de inclinación θ . Los medios 210 limitantes comprenden un par de placas 221 de metal paralelas que están dispuestas de manera ajustada sobre el árbol 110 de salida debajo del pivote 31. Las placas 221 de metal están separadas entre sí para formar un corredor vertical en donde el brazo 30 de pivote se puede mover libremente hacia arriba y hacia abajo alrededor del eje 16 de inclinación. Cada una de las placas 221 de metal comprende un conjunto de orificios 213. Los conjuntos de orificios de las dos placas 221 de metal están alineados uno respecto del otro de modo que un perno 214, 215 de metal puede deslizarse horizontalmente a través de dos orificios 213 alineados. Un perno 214 de metal inferior está insertado en una posición inferior, formando así un tope para el brazo 30 de pivote en un ángulo de inclinación mínimo θ_{\min} . Un perno 215 de metal superior está insertado en una posición superior, formando así un tope para el brazo 30 de pivote en un ángulo de inclinación máximo θ_{\max} .

La figura 8 muestra una realización alternativa de los medios 210 limitantes para limitar el intervalo del ángulo de inclinación θ . La función de los medios 210 limitantes de la figura 8 es similar a la función de los medios 210 limitantes de la figura 7, excepto por la posición de los medios 210 limitantes. Contrariamente al par de placas 221 de metal de la figura 7, el par de placas de metal de la figura 8 está posicionado sobre y por encima del pivote 31. Un perno 214 de metal inferior está insertado en una posición inferior, formando así un tope para el brazo 30 de pivote en un ángulo de inclinación máximo θ_{\max} . Un perno 215 de metal superior está insertado en una posición superior, formando así un tope para el brazo 30 de pivote en un ángulo de inclinación mínimo θ_{\min} .

La figura 9 muestra aún otra realización de los medios 210 limitantes. Los medios 210 limitantes comprenden una placa 50 circular de metal con un orificio 51 curvado en proximidad a la circunferencia de la placa 50, un primer tope 52 y un segundo tope 53 que se proyectan desde la placa 50 y puede moverse a lo largo del orificio 51, y un perno 54 móvil entre el primer tope 52 y un segundo tope 53. La placa 50 está conectada de manera ajustada al mecanismo 7 basculante exterior del dispositivo 1 de multiplicación mostrado en la figura 1 de modo que el eje 16 de inclinación pasa a través del centro de la placa 50 y es perpendicular al plano de la placa 50. Un pivote 31 a lo largo del eje 16 de inclinación pasa a través del centro de la placa y se proyecta desde la placa 50. Un extremo del perno 54 está conectado de manera ajustada al pivote 31 que sobresale de modo que el perno 54 se extiende a noventa grados desde el eje 16 de inclinación. La longitud del perno 54 se elige de modo que un movimiento pivotante del perno 54 alrededor del eje 16 de inclinación está limitado por el primer tope 52 y el segundo tope 53.

Las posiciones del primer tope 52 y del segundo tope 53 pueden cambiarse individualmente, incluso durante el funcionamiento del dispositivo 1 de multiplicación. Un cambio de la posición del primer tope 52 o del segundo tope 53 puede lograrse, por ejemplo, por medio de un mecanismo de engranajes. Las posiciones respectivas del primer tope 52 y del segundo tope 53 definen un intervalo angular máximo α en el que el perno 54 puede pivotar alrededor del eje 16 de inclinación. De este modo, el intervalo permisible del ángulo de inclinación θ entre el primer eje 4 y el segundo 11 puede definirse y cambiarse, incluso durante el funcionamiento del dispositivo 1 de multiplicación.

Conjunto

La figura 10 muestra un conjunto de 2 x 2 preferido de cuatro dispositivos de multiplicación. El conjunto de 2 x 2 comprende cuatro dispositivos de multiplicación del tipo del dispositivo 1 de multiplicación mostrado en la figura 1 en donde los bastidores 9 de los cuatro dispositivos de multiplicación han sido ensamblados como un bastidor 90 de conjunto único. Los árboles 110 de salida a lo largo de los segundos ejes 11 de los cuatro dispositivos de multiplicación se proyectan desde el lado frontal del bastidor 90 de conjunto. La energía motriz de salida de cada uno de los árboles 110 de salida es tomada por medio de cuatro transmisiones 29 en ángulo para llevar las energías motrices de salida respectivas de los cuatro dispositivos de multiplicación en conjunto a un árbol 36 de salida colectivo. Cada uno de los cuatro dispositivos de multiplicación comprende medios de retroalimentación que comprenden una correa 18 y un alternador 19 para la retroalimentación de la energía motriz de salida dentro de los dispositivos de multiplicación.

Campo de fuerzas

La figura 11 muestra un esquema de un campo 201 de fuerzas que actúan sobre un cuerpo 2 cilíndrico con grosor dx . La figura 11 muestra un plano 200 del cuerpo 2 que yace perpendicularmente con respecto al eje rotacional del cuerpo 2. La figura 11 muestra tres vectores x , y , z a lo largo de las direcciones de un sistema de coordenadas cartesianas tridimensional para ilustrar la orientación del plano 200 y del campo 201 de fuerzas. Se aplica un par al cuerpo 2 alrededor del tercer eje 16.

El tercer eje 16 discurre a lo largo de la dirección x del sistema de coordenadas cartesianas y pasa a través de los puntos A y B del plano del cuerpo 200. El vector de par apunta en la dirección x del sistema de coordenadas cartesianas. El sentido 21 de rotación ocasionado por el par se determina utilizando la regla de la mano derecha: utilizando la mano derecha, apuntar con el pulgar en la dirección del vector de par. Los dedos curvados muestran el sentido de rotación.

El campo 201 de fuerzas consiste en vectores de fuerza. Se muestran cuatro vectores 100 a 103 de fuerza del campo 201 de fuerzas como ejemplo en la figura 11. Para el cuerpo 2 cilíndrico con grosor dx , la forma del campo de fuerzas, mostrado en la figura 11, es la misma que el campo de fuerzas que ocurre sobre la sección transversal circular de una varilla forzada a doblarse. Los vectores 100 y 101 de fuerza son los vectores de fuerza del campo 201 de fuerzas con el valor máximo. Estos apuntan en las direcciones positiva y negativa de z , respectivamente. Los vectores 102 y 103 de fuerza son vectores de fuerza del campo 201 de fuerzas con valor menor, dependiendo de su posición sobre el plano del cuerpo 201. Estos apuntan en la dirección positiva y negativa de z , respectivamente.

Vectores

La figura 12 ilustra la orientación de vectores asociados con los movimientos rotacionales que ocurren en un dispositivo de multiplicación según una realización de la invención. La figura 12 muestra una rueda 2 cilíndrica de un dispositivo de multiplicación. El centro de masa de la rueda 2 está ubicado en el punto de intersección IP donde se intersecan el primer eje 4 y el segundo eje 11 y el tercer eje 16. El plano está mostrado puramente para aclarar la orientación relativa de los ejes 4, 11, 16 y la rueda 2.

La rueda 2 se hace rotar por lo cual el eje rotacional de la rueda 2 está a lo largo del primer eje 4. El vector de velocidad angular del movimiento angular de la rueda 2 alrededor del primer eje 4 se denomina vector de giro V1.

Se aplica un par a la rueda 2 alrededor del tercer eje 16 (= eje de inclinación) en un sentido de aumentar el ángulo de inclinación entre el primer eje 4 y el segundo eje 11. El vector de par del par aplicado alrededor del tercer eje 16 se denomina vector de par V3 alrededor del tercer eje.

El par aplicado alrededor del tercer eje 16 causa que el primer eje 4 precesione alrededor del segundo eje 11. El vector de velocidad angular del movimiento angular del primer eje 4 alrededor del segundo eje 11 se denomina vector de movimiento de salida V2.

Longitud del brazo de conexión

La figura 13 muestra un esquema para ilustrar la definición de la longitud del brazo de conexión. La figura 13 muestra el primer eje 4 y el segundo eje 11 de un dispositivo de multiplicación según la invención. Ambos ejes 4, 11 yacen dentro del plano del dibujo de la figura 13. El primer eje 4 está montado de forma pivotante sobre el segundo eje 11 por medio de un pivote de modo que el primer eje 4 puede rotar dentro del plano del dibujo de la figura 13 alrededor del centro del pivote 34. El primer eje 4 está orientado con respecto al segundo eje 11 en un ángulo de inclinación θ . El primer eje 4 constituye el eje de giro (= eje rotacional) del cuerpo 2.

La figura 13 muestra en contorno de un cuerpo 2 que está montado sobre el dispositivo de multiplicación para la rotación alrededor del eje 4 de giro de modo que el eje 4 de giro pasa a través del centro de masa CM del cuerpo 2 y se maximiza el momento de inercia del cuerpo 2.

La figura 13 muestra un caso donde el cuerpo 2 no es simétrico alrededor del plano 250 central (= el plano que pasa a través del centro de masa CM del cuerpo 2 y es ortogonal al primer eje 4). En este caso, entre las dos posibles orientaciones de montaje se utiliza una con una distancia menor entre el centro de masa CM del cuerpo 2 y el tercer eje 16, que preferiblemente pasa a través del centro del pivote 34.

Hay infinitos planos que intersecan el cuerpo 2 y son ortogonales al eje 4 de giro. Entre estos planos aquél que tiene la distancia mínima al centro del pivote 34 se define como el plano de conexión P_c . Según el plano de conexión P_c , la longitud del brazo de conexión l_c se define como la distancia del punto de intersección del plano de conexión P_c y el eje 4 de giro hasta el centro del pivote 34. La longitud del brazo de conexión l_c es diferente de la longitud del brazo de palanca, definido como la distancia del centro de masa CM del cuerpo 2 hasta el tercer eje 16.

Experimentos

Los siguientes cuatro experimentos 1 a 4 fueron llevados a cabo utilizando el aparato de ensayo mostrado en la figura 6. Nueve cuerpos diferentes tal como se definen en la tabla 1 siguiente fueron utilizados en los experimentos:

Tabla 1: Parámetros de los cuerpos A, B, C, D, E, F, G, H, y J.

| | Forma | Material | Masa [kg] | Diámetro exterior [mm] | Diámetro interior [mm] | Altura [mm] |
|----------|----------|----------|-----------|------------------------|------------------------|-------------|
| Cuerpo A | Anillo | Acero | 11,324 | 520 | 480 | 20 |
| Cuerpo B | Cilindro | Acero | 9,785 | 390 | - | 10 |
| Cuerpo C | Cilindro | Aluminio | 3,846 | 390 | - | 10 |
| Cuerpo D | Cilindro | Aluminio | 9,684 | 240 | - | 80 |
| Cuerpo E | Cilindro | Acero | 0,107 | 60 | - | 5 |
| Cuerpo F | Cilindro | Acero | 0,172 | 60 | - | 8 |
| Cuerpo G | Cilindro | Acero | 0,431 | 60 | - | 20 |
| Cuerpo H | Anillo | Acero | 0,694 | 60 | 30 | 40 |
| Cuerpo J | Anillo | Acero | 0,858 | 60 | 30 | 50 |

5

El acero utilizado tiene una densidad de 7850 kg/m³, el aluminio utilizado tiene una densidad de 2700 kg/m³.

Experimento 1

En este experimento se evaluaron los cuatro cuerpos A, B, C, y D especificados en la tabla 1 mediante la medición de las velocidades angulares críticas ω_c de estos cuerpos para dos ángulos de inclinación diferentes. El experimento fue llevado a cabo en el aparato de ensayo de la figura 6. El centro de masa CM de los cuerpos fue dispuesto a una distancia l de aproximadamente 0,072 m del punto de intersección IP.

10

En una primera pasada, el ángulo de inclinación θ se estableció en 45 grados. Los valores medidos se dan en la tabla 2a.

Tabla 2a: Velocidades angulares críticas ω_c a $\theta = 45^\circ$, medidas en el experimento 1 utilizando el aparato de ensayo de la figura 6

15

| | Magnitud de Par aplicado alrededor del eje de inclinación [Nm] | Velocidad angular crítica ω_c [rpm] |
|----------|--|--|
| Cuerpo A | 9,14 | 99 |
| Cuerpo B | 5,58 | 381 |
| Cuerpo C | 2,20 | 192 |
| Cuerpo D | 6,48 | 410 |

La unidad “rpm” significa “revoluciones por minuto”, es decir, 60 rpm corresponde a 1 Hz.

En una segunda pasada, el ángulo de inclinación θ se estableció en 25 grados. Los valores medidos se dan en la

tabla 2b.

Tabla 2b: Velocidades angulares críticas ω_c a $\theta = 25^\circ$, medidas en el experimento 1 utilizando el aparato de ensayo de la figura 6

| | Magnitud de Par aplicado alrededor del eje de inclinación Nm] | Velocidad angular crítica ω_c [rpm] |
|----------|---|--|
| Cuerpo A | 5,46 | 85 |
| Cuerpo B | 3,33 | 280 |
| Cuerpo C | 1,31 | 160 |
| Cuerpo D | 3,81 | 355 |

5 Experimento 2

El propósito de este experimento es mostrar que cuando la velocidad angular ω_{spin} de un cuerpo es menor que la velocidad angular crítica ω_c , el cuerpo 2 cae, es decir, rota alrededor del eje 16 de inclinación en la misma dirección del par aplicado ocasionado por la fuerza gravitacional sobre la masa m del cuerpo 2.

El experimento puede resumirse en las siguientes etapas:

- 10 1. Se hace rotar el cuerpo 2 alrededor del eje 4 de giro, utilizando una fuente externa de energía motriz, hasta una velocidad angular inicial ω_{spin} que es menor que la velocidad angular crítica ω_c del cuerpo para el ángulo de inclinación inicial θ_{min} .
- 2. Se ubica el cuerpo 2 en el ángulo de inclinación inicial θ_{min} .
- 3. Se libera el cuerpo 2 en el ángulo de inclinación inicial θ_{min} .
- 15 4. Se mide la duración de la rotación del cuerpo 2 alrededor del eje 16 de inclinación comenzando en el ángulo de inclinación inicial θ_{min} y finalizando en el ángulo de inclinación final θ_{max} .
- 5. Durante esta rotación, se mide la velocidad angular de salida máxima ω_{out} del árbol 11 de salida.

Estas cinco etapas han sido llevadas a cabo para los tres cuerpos A, B, y C especificados en la tabla 1. El experimento con las cinco etapas anteriormente mencionadas se ha ejecutado como sigue.

- 20 Se ubica el cuerpo 2 sobre el brazo 30 de pivote a una distancia $l = 0,072$ m del el eje 16 de inclinación. Los medios 210 de limitación se ajustan de modo que limiten el ángulo de inclinación θ a un intervalo entre un ángulo de inclinación mínimo $\theta_{min} = 30^\circ$ y un ángulo de inclinación máximo $\theta_{max} = 80^\circ$.

25 El brazo 30 de pivote se ubica inicialmente en el ángulo de inclinación $\theta_{min} = 30^\circ$ y luego es liberado. Si el cuerpo 2 no rota, éste cae bajo la influencia de la fuerza gravitacional y el brazo 30 de pivote rota alrededor del eje 16 de inclinación con ángulo de inclinación creciente θ . La duración de la caída desde el ángulo de inclinación inicial $\theta_{min} = 30^\circ$ hasta el ángulo de inclinación final $\theta_{max} = 80^\circ$ es menor que 0,5 seg.

30 Si el cuerpo 2 se gira a una velocidad angular inicial ω_{spin} menor que la velocidad angular crítica ω_c del cuerpo 2 y se libera al ángulo de inclinación inicial $\theta_{min} = 30^\circ$, el brazo 30 de pivote precesiona alrededor del eje 11 de salida vertical con un ángulo de inclinación θ creciente lentamente. La precesión del cuerpo 2 provoca que el árbol 110 de salida rote con una velocidad angular de salida ω_{out} . El movimiento helicoidal del brazo 30 de pivote con ángulo de inclinación θ crecientemente estable continúa hasta que el brazo 30 de pivote toca el perno 215 de metal superior en el ángulo de inclinación final $\theta_{max} = 80^\circ$.

La tabla 3 da los resultados de este experimento para los cuerpos A, B, C de la tabla 1.

Tabla 3: Caída y precesión, respectivamente, del brazo de pivote

| | Velocidad angular inicial ω_{spin} [rpm] | Angulo de inclinación inicial θ_{min} [°] | Angulo de inclinación final θ_{max} [°] | Duración de la Precesión (Caída) [s] | Velocidad angular de salida máxima ω_{out} [rpm] |
|-----------------|---|--|--|--------------------------------------|---|
| Cuerpos A, B, C | 0 | 30 | 80 | <0,5 (Caída) | 0 |
| Cuerpo A | 75 | 30 | 80 | 30 | 37 |
| Cuerpo B | 140 | 30 | 80 | 81 | 38 |
| Cuerpo C | 140 | 30 | 80 | 18 | 47 |

Experimento 3

5 El experimento 3 difiere del experimento 2 en que la velocidad angular inicial ω_{spin} del cuerpo 2 es mayor que la velocidad angular crítica ω_c del cuerpo 2.

10 El propósito de este experimento es mostrar que cuando la velocidad angular ω_{spin} de un cuerpo 2 es mayor que la velocidad angular crítica ω_c , el cuerpo se eleva, es decir, rota alrededor del eje 16 de inclinación en la dirección opuesta a la del par aplicado causado por la fuerza gravitacional sobre la masa m del cuerpo 2. Esta elevación del cuerpo 2 podría denominarse “movimiento de reacción”. Este experimento también demuestra el efecto del frenado del movimiento de reacción, concretamente, un aumento significativo en la velocidad angular de salida del árbol 110 de salida.

El experimento puede resumirse en las siguientes etapas:

- 15 1. Se hace rotar el cuerpo 2 alrededor del eje 4 de giro, utilizando una fuente externa de energía motriz, hasta una velocidad angular inicial ω_{spin} que es mayor que la velocidad angular crítica ω_c del cuerpo para el ángulo de inclinación inicial θ_{max} .
2. Se ubica el cuerpo 2 en el ángulo de inclinación inicial θ_{max} .
3. Se libera el cuerpo 2 en el ángulo de inclinación inicial θ_{max} .
4. Se mide la duración de la rotación del cuerpo 2 alrededor del eje 16 de inclinación comenzando en el ángulo de inclinación inicial θ_{max} y finalizando en el ángulo de inclinación final θ_{min} .
- 20 5. Se mide la velocidad angular máxima ω_{out} del árbol 11 de salida durante el movimiento de reacción.
6. Se frena el movimiento de reacción en el ángulo limitante θ_{min} . Se mide la velocidad angular ω_{spin} del cuerpo 2 cuando el cuerpo 2 se acaba de inclinar hacia los medios limitantes en el ángulo limitante θ_{min} .
7. Se mide la velocidad angular de salida máxima ω_{out} del árbol 11 de salida cuando se frena el movimiento de reacción.
- 25 8. Cuando la velocidad angular ω_{spin} del cuerpo 2 cae por debajo de la velocidad angular crítica ω_c (por ejemplo, debido a pérdidas de fricción), el cuerpo 2 comienza a caer.

Estas ocho etapas han sido llevadas a cabo para los cuatro cuerpos A, B, C, y D especificados en la tabla 1. El experimento con las ocho etapas anteriormente mencionadas se ha ejecutado como sigue.

30 Se ubica el cuerpo 2 sobre el brazo 30 de pivote a una distancia $l = 0,072$ m del el eje 3 de inclinación. El aparato de ensayo adicionalmente comprende medios 210 limitantes para limitar el ángulo de inclinación θ a un intervalo entre un ángulo de inclinación mínimo $\theta_{min} = 25^\circ$ y un ángulo de inclinación máximo $\theta_{max} = 30^\circ$.

Se ubica el brazo 30 de pivote en el ángulo de inclinación $\theta_{max} = 30^\circ$. El cuerpo 2 se hace girar a una velocidad angular inicial ω_{spin} mayor que la velocidad angular crítica ω_c del cuerpo 2 y se libera el brazo 30 de pivote en el

ángulo de inclinación inicial $\theta_{\max} = 30^\circ$. El brazo 30 de pivote rota alrededor del eje 11 de salida vertical con un ángulo de inclinación θ lentamente decreciente. La elevación en espiral del brazo 30 de pivote causa que el árbol 110 de salida rote con una velocidad angular de salida ω_{out} . El movimiento helicoidal del brazo 30 de pivote con ángulo de inclinación θ establemente decreciente continúa hasta que el brazo 30 de pivote toca el perno 215 de metal superior y se frena el movimiento de reacción al ángulo de inclinación final $\theta_{\min} = 25^\circ$ (= ángulo de limitación).

La tabla 4 da los resultados de este experimento para los cuatro cuerpos A, B, C, D de la tabla 1.

Tabla 4: Elevación del brazo de pivote (= movimiento de reacción), ángulo de inclinación inicial $\theta_{\max} = 30^\circ$, ángulo de inclinación final $\theta_{\min} = 25^\circ$.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------|--|------------------------------|---|--|--|
| | Velocidad angular inicial ω_{spin} [rpm] | Duración de la elevación [s] | Velocidad angular de salida máx. ω_{out} durante la elevación [rpm] | Velocidad angular ω_{spin} justo antes de frenar el movimiento de reacción [rpm] | Velocidad angular de salida máx. ω_{out} luego de alcanzar θ_{\min} [rpm] |
| Cuerpo A | 300 | 111 | 9 | 230 | 107 |
| Cuerpo A | 400 | 93 | 6 | 315 | 187 |
| Cuerpo B | 600 | 29 | 7 | 540 | 110 |
| Cuerpo C | 600 | 13 | 8 | 480 | 220 |
| Cuerpo D | 600 | 22 | 26 | 492 | 70 |

La columna 2 da la velocidad angular inicial ω_{spin} del cuerpo 2 mediante la cual la velocidad angular inicial ω_{spin} es superior a la velocidad angular crítica ω_c para ese ángulo de inclinación $\theta_{\max} = 30^\circ$. La columna 3 da el tiempo entre la liberación del cuerpo 2 en el ángulo de inclinación inicial $\theta_{\max} = 30^\circ$ y el final de la elevación (= movimiento de reacción) al ángulo de inclinación final $\theta_{\min} = 25^\circ$. La columna 4 da la velocidad angular de salida máxima ω_{out} del árbol 110 de salida que se observa durante la elevación del brazo 30 de pivote. La columna 5 da la velocidad angular ω_{spin} del cuerpo 2 en el momento cuando el brazo 30 de pivote solo toca el perno 214 de metal inferior al ángulo de inclinación final $\theta_{\min} = 25^\circ$. La columna 6 da la velocidad angular de salida máxima ω_{out} del árbol 110 de salida que se observa tras la elevación del brazo 30 de pivote se ha detenido mediante el perno 214 de metal inferior en el ángulo de inclinación final $\theta_{\min} = 25^\circ$.

Como puede observarse a partir de las columnas 2, 3 y 4 de la tabla 4, aumentando la velocidad angular inicial ω_{spin} aumenta la velocidad del movimiento de reacción, sin embargo, la velocidad angular máxima de salida ω_{out} observada durante el movimiento de reacción disminuye. Cuando el movimiento de reacción se frena en el ángulo de inclinación final, la velocidad angular de salida ω_{out} aumenta excesivamente y la cantidad de aumento es mayor cuando la velocidad angular inicial ω_{spin} del cuerpo es superior.

Experimento 4

A fin de permitir una comparación entre cuerpos diferentes con respecto a su adecuación en un dispositivo de multiplicación según la invención, se define una velocidad angular crítica específica $\omega_{c,\text{spec}}$. La velocidad crítica específica $\omega_{c,\text{spec}}$ (también denominada “velocidad angular crítica específica”) de un cuerpo para un ángulo de inclinación θ y una longitud de brazo de conexión l_c se define como la velocidad crítica ω_c del cuerpo medida utilizando el dispositivo de ensayo de la figura 6 cuando el ángulo de inclinación es θ y la distancia del plano de conexión al centro del pivote es l_c .

El propósito de este experimento es mostrar que la medición de la velocidad crítica específica $\omega_{c,\text{spec}}$ de cuerpos diferentes para la longitud l_c del brazo de conexión fijada en 25 mm y un ángulo de inclinación θ de 45 grados. El experimento fue llevado a cabo mediante el uso del dispositivo de ensayo de la figura 6.

Los cuerpos E, F, G, H, J de la tabla 1 con diámetro menor son utilizados en este experimento dado que es difícil

rotar cuerpos con dimensiones mayores a velocidades de rotación superiores.

La tabla 5 da la velocidad angular crítica específica $\omega_{c,spec}$ medida para los tres cuerpos especificados en la tabla 1.

Tabla 5: Velocidad angular crítica específica $\omega_{c,spec}$ para longitud de brazo de conexión $l_c = 25$ mm y ángulo de inclinación $\theta = 45^\circ$.

| | Velocidad angular crítica específica $\omega_{c,spec}$ [rpm] |
|----------|--|
| Cuerpo E | 2400 |
| Cuerpo F | 2600 |
| Cuerpo G | 3200 |
| Cuerpo H | 2500 |
| Cuerpo J | 3000 |

5

La velocidad crítica específica $\omega_{c,spec}$ del cuerpo 2 sólo indica cómo de adecuada es la forma del cuerpo 2 y la distribución de la masa del cuerpo 2 en términos de eficiencia. Entre dos cuerpos diferentes, se puede decir que aquél con una velocidad crítica específica inferior $\omega_{c,spec}$ es más eficiente en términos de forma del cuerpo y de la distribución de la masa del cuerpo. Sin embargo, la velocidad crítica específica $\omega_{c,spec}$ del cuerpo no indica si la resistencia del material del cuerpo es adecuada para la energía de salida requerida del dispositivo de multiplicación. El cuerpo también debería evaluarse en cuanto a la resistencia y la rigidez bajo la magnitud del par aplicado necesario para una energía de salida deseada del dispositivo de multiplicación. Si la resistencia del material del cuerpo no es suficiente, la eficiencia del dispositivo de multiplicación puede disminuir durante el funcionamiento del dispositivo de multiplicación bajo carga.

10

15 Dado que la velocidad crítica específica $\omega_{c,spec}$ de un cuerpo 2 es una propiedad del cuerpo 2 que se determina dependiendo del ángulo de inclinación y la longitud l_c del brazo de conexión, la velocidad crítica específica $\omega_{c,spec}$ del cuerpo 2 puede variar para diferentes pares (θ, l_c) de los dos parámetros de ángulo de inclinación θ y longitud del brazo de conexión l_c . Por lo tanto, a fin de comparar cuerpos diferentes, deberían compararse las velocidades críticas específicas $\omega_{c,spec}$ de los cuerpos para un par de parámetros (θ, l_c) idénticos. Así, es importante utilizar el mismo par de parámetros (θ, l_c) para comparar cuerpos diferentes. Para el mismo par de parámetros (θ, l_c) , puede decirse que el cuerpo con la velocidad crítica específica menor es el cuerpo más eficiente en términos de forma del cuerpo y de la distribución de la masa del cuerpo.

20

Dados dos cuerpos diferentes que tienen diferentes valores de velocidad crítica específica $\omega_{c,spec}$ para el mismo par de parámetros (θ, l_c) . Entonces, para un determinado triplete (= conjunto de tres) de parámetros del ángulo de inclinación θ , la magnitud del par aplicado, y la velocidad de giro ω_{spin} , los pares de valores que comprenden el valor de velocidad de salida ω_{out} y el valor de par de salida son diferentes para estos dos cuerpos. Esto significa que, aunque el ángulo de inclinación θ , la magnitud del par aplicado y la velocidad de giro ω_{spin} se mantienen iguales para estos dos cuerpos, el dispositivo de multiplicación proporcionará diferentes valores de velocidad de salida ω_{out} y valores de par de salida para cada uno de los dos cuerpos.

25

30 Si el tamaño o masa de un cuerpo que va a evaluarse no es adecuado para el dispositivo de ensayo, se puede deducir la velocidad crítica específica del cuerpo mediante cálculos matemáticos a partir de las velocidades críticas específicas de otros cuerpos que son escalados según un factor escalar, tal que estos otros cuerpos podrían evaluarse utilizando el dispositivo de multiplicación.

30

Una de las variables para determinar la energía de salida es la magnitud del par aplicado. A fin de obtener una energía de salida superior, es necesario utilizar un par superior en tanto que se preservan las otras condiciones de funcionamiento. Asimismo, para un ángulo de inclinación seleccionado, si se aumenta la magnitud del par aplicado, la velocidad crítica ω_c también aumenta. Por lo tanto, si se utiliza un valor de par mayor que el valor de par utilizado cuando se determina la velocidad crítica específica $\omega_{c,spec}$ sobre el mismo cuerpo, el nuevo valor de velocidad crítica que corresponde al nuevo valor de par sería superior a la velocidad crítica específica $\omega_{c,spec}$ para ese ángulo de inclinación.

35

40

Dado que es obligatorio que la velocidad de giro ω_{spin} del cuerpo sea superior a la velocidad crítica ω_c durante el

funcionamiento del dispositivo de multiplicación, un cuerpo con un valor de velocidad crítica específica mayor $\omega_{c,spec}$ debe hacerse rotar a velocidades mayores en comparación con un cuerpo con una velocidad crítica específica inferior $\omega_{c,spec}$.

5 De hecho, utilizar un cuerpo con un valor de velocidad de giro menor ω_{spin} es beneficioso porque, como es sabido, las pérdidas de fricción (tales como fricción con el aire, fricción por rodamiento) aumentan exponencialmente con la velocidad de giro ω_{spin} (ver Tabla 6). Más aún, velocidades de giro mayores en el dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, requieren que la resistencia global del motor deba hacerse mayor, y esto aumentaría los costes de producción del dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor.

10 El dispositivo de ensayo para medir la velocidad crítica específica $\omega_{c,spec}$ debería tener algunas características especiales a fin de mejorar la precisión de la medición: La tasa de transmisión del par del eje 4 de giro al segundo eje 11 ocasionada por las fuerzas de fricción que actúan contra la rotación alrededor del eje 4 de giro afecta a los valores de velocidad crítica específica $\omega_{c,spec}$. A fin de disminuir este efecto, las fuerzas de fricción que actúan contra la rotación alrededor del eje 4 de giro deberían ser tan cercanas como sea posible al valor mejor teóricamente de cero. Las fuerzas de fricción que actúan contra la rotación alrededor del segundo eje 11 disminuyen la velocidad de rotación alrededor del segundo eje 11 y por lo tanto aumentan los valores de velocidad crítica específica $\omega_{c,spec}$. A fin de disminuir este efecto, las fuerzas de fricción que actúan contra la rotación alrededor del segundo eje 11 deberían ser tan cercanas como sea posible al valor mejor teóricamente de cero.

La tabla 6 da la caída de corriente de un motor eléctrico (= motor de giro) utilizado para hacer girar el cuerpo F.

20 Tabla 6: Consumo de corriente del motor de giro eléctrico mientras se hace girar el cuerpo F para diferentes velocidades de giro ω_{spin} .

| Velocidad de giro ω_{spin} [rpm] | Consumo de corriente del motor de giro [mA] |
|---|---|
| 3000 | 800 |
| 4000 | 870 |
| 5000 | 1100 |
| 6000 | 1800 |
| 7000 | 3000 |

25 Las realizaciones provistas en las figuras tienen las funciones que se describen en la descripción de las figuras. Sin embargo, estas realizaciones tienen funciones adicionales que no están descritas en la descripción sino solamente descritas en las reivindicaciones. Más aún, el objeto de todas las reivindicaciones puede entenderse en las realizaciones provistas en las figuras o en modificaciones de las mismas.

Clave de signos de referencia

- 1 dispositivo de multiplicación
- 2 cuerpo
- 3 árbol de rotación
- 30 4 primer eje (= eje de giro)
- 5 mecanismo basculante interno
- 6 rodamientos internos
- 7 mecanismo basculante externo
- 8 rodamientos externos

| | | |
|----|---------|-----------------------------------|
| | 9 | bastidor |
| | 10 | rodamientos del bastidor |
| | 11 | segundo eje |
| | 12 | motor eléctrico |
| 5 | 13 | plano |
| | 15 | gato hidráulico |
| | 16 | tercer eje (= eje de inclinación) |
| | 17 | unidad de control |
| | 18 | correa |
| 10 | 19 | alternador |
| | 20 | cableado eléctrico |
| | 21 | par aplicado, dirección de |
| | 22 | par de reacción, dirección de |
| | 29 | transmisión en ángulo |
| 15 | 30 | brazo de pivote |
| | 31 | pivote |
| | 32 | rodamiento |
| | 33 | medios de acoplamiento |
| | 36 | árbol de salida colectivo |
| 20 | 40 | rodamiento |
| | 41 | tope o soporte |
| | 50 | placa |
| | 51 | orificio |
| | 52-53 | tope |
| 25 | 54 | perno |
| | 90 | bastidor del conjunto |
| | 100-103 | vector de fuerza |
| | 110 | árbol de salida |
| | 200 | plano |
| 30 | 201 | campo de fuerzas |
| | 210 | medios limitantes |

| | | |
|----|---------------------------|--|
| | 211-212 | placas |
| | 213 | orificio |
| | 214-215 | perno |
| | 221 | placas |
| 5 | 250 | plano central |
| | CM | centro de masa del cuerpo |
| | F_G | fuerza gravitacional |
| | l | distancia, longitud de |
| 10 | l_c | longitud del brazo de conexión |
| | IP | punto de intersección |
| | P_c | plano de conexión |
| | V1 | vector de giro |
| | V2 | vector de movimiento de salida |
| 15 | V3 | vector de par aplicado alrededor del tercer eje |
| | α | intervalo angular |
| | θ | ángulo de inclinación |
| | θ_{\min} | ángulo de inclinación mínimo |
| | θ_{\max} | ángulo de inclinación máximo |
| 20 | ω | velocidad angular |
| | ω_c | velocidad angular crítica |
| | $\omega_{c, \text{spec}}$ | velocidad angular crítica específica |
| | ω_{out} | velocidad angular alrededor del eje de salida |
| | ω_{spin} | velocidad angular del cuerpo 2 alrededor del eje 4 de giro |
| 25 | | |

REIVINDICACIONES

1. A) Dispositivo de multiplicación, preferiblemente dispositivo motor, para proporcionar rotación alrededor de al menos un eje de salida,
- comprendiendo dicho dispositivo:
- 5 B) un cuerpo (2) montado para una rotación alrededor de un primer eje (4) y una rotación alrededor de un segundo eje (11) y una rotación alrededor de un tercer eje (16), estando orientado el primer eje (4) con respecto al segundo eje (11) en un ángulo de inclinación (θ), constituyendo el segundo eje (11) y/o el tercer eje (16) el al menos un eje de salida de dicho dispositivo, en el que la rotación del cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16) da origen a un cambio en el ángulo de inclinación (θ),
- 10 C) medios (15) para aplicar un par (21) al cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16) en un sentido de aumentar el ángulo de inclinación (θ) cuando el primer eje (4) forma un ángulo de inclinación seleccionado (θ) con respecto al segundo eje (11) que es mayor que 0 grados y menor que 90 grados, y
- D) medios (210) para limitar la rotación del cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16) en un sentido de disminuir el ángulo de inclinación (θ) de modo que el ángulo de inclinación (θ) del primer eje (4) con respecto al segundo eje (11) permanece mayor que 0 grados y menor que 90 grados,
- 15 E) estando estructurado dicho dispositivo para permitir que una fuente de energía motriz se conecte al cuerpo (2) para hacer que el cuerpo (2) rote alrededor del primer eje (4), y
- F) mediante lo cual la rotación del cuerpo (2) alrededor del primer eje (4) es a una velocidad angular (ω_{spin}) mayor que una velocidad angular crítica (ω_c) de modo que se alcanza un ángulo de inclinación (θ) constante o decreciente, iniciando o aumentando de este modo una velocidad angular de salida (ω_{out}) y/o un par de salida de la rotación del cuerpo (2) alrededor del segundo eje (11) y/o alrededor del tercer eje (16) como dicho al menos un eje de salida,
- 20 G) mediante lo cual el cuerpo (2) tiene una velocidad angular crítica específica ($\omega_{c,spec}$) de menos de 20000 revoluciones por minuto, preferiblemente para aumentar de este modo una energía de salida alrededor del al menos un eje de salida,
- 25 mediante lo cual dicha velocidad angular crítica específica ($\omega_{c,spec}$) está definida como sigue:
- la velocidad angular crítica específica ($\omega_{c,spec}$) es la velocidad angular crítica (ω_c) del cuerpo (2)
- cuando el ángulo de inclinación (θ) del primer eje (4) con respecto al segundo eje (11) es 45 grados,
- cuando el primer eje (4) pasa sustancialmente a través del centro de masa (CM) del cuerpo (2),
- 30 cuando el cuerpo (2) está orientado de modo que el momento de inercia del cuerpo (2) está sustancialmente maximizado,
- cuando, si el cuerpo (2) no es simétrico alrededor de un plano que pasa a través del centro de masa (CM) del cuerpo (2) y que es ortogonal al primer eje (4), entre las posibles orientaciones de montaje del cuerpo (2) en el primer eje (4) se elige aquella que da como resultado una menor distancia entre el centro de masa (CM) del cuerpo (2) y el tercer eje (16), y
- 35 cuando una longitud de un brazo de conexión (l_c) es
- a) 5 mm si la masa del cuerpo (2) es menor que 0,1 kg,
- b) 25 mm si la masa del cuerpo (2) es igual a o mayor que 0,1 kg y menor que 100 kg,
- c) 50 mm si la masa del cuerpo (2) es igual a o mayor que 100 kg y menor que 1000 kg, y
- 40 d) 100 mm si la masa del cuerpo (2) es igual a o mayor que 1000 kg,
- mediante lo cual dicha longitud del brazo de conexión (l_c) es la distancia del punto de intersección de un plano de conexión (P_c) y del primer eje (4) al tercer eje (16), mediante lo cual dicho plano de conexión (P_c)

- es un plano que es ortogonal al primer eje (4) e interseca el cuerpo (2) y tiene la distancia mínima al eje (16) de inclinación.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, que comprende además una fuente de energía motriz que está conectada al cuerpo (2) para hacer que el cuerpo (2) rote alrededor del primer eje (4) a dicha velocidad angular (ω_{spin}) mayor que dicha velocidad angular crítica (ω_c).
 3. Dispositivo según la reivindicación 2, que comprende además medios (17, 18, 19, 20) de retroalimentación para transmitir energía motriz desde la rotación del cuerpo (2) alrededor del al menos un eje de salida a la fuente de energía motriz.
 4. Dispositivo según la reivindicación 3, en el que los medios (17, 18, 19, 20) de retroalimentación están dispuestos para transmitir suficiente energía motriz a la fuente de energía motriz para superar las pérdidas de energía que surgen a partir de la fricción debida a la rotación del cuerpo (2) alrededor del primer eje (4) cuando el ángulo de inclinación (θ) y la magnitud del par aplicado alrededor del tercer eje (16) y la velocidad angular de salida (ω_{out}) alrededor del al menos un eje de salida son constantes.
 5. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además medios para controlar la fuente de energía motriz para hacer que el cuerpo (2) rote alrededor del primer eje (4) a dicha velocidad angular (ω_{spin}) mayor que dicha velocidad angular crítica (ω_c).
 6. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios de aplicación de par (15) están dispuestos para aplicar el par (21) al cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16) cuando el ángulo de inclinación seleccionado (θ) es mayor que 10 grados y menor que 80 grados.
 7. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además medios para controlar la magnitud del par (21) aplicado por los medios (15) de aplicación de par.
 8. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios (210) limitantes están dispuestos para limitar la rotación del cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16) de modo que el ángulo de inclinación (θ) del primer eje (4) con respecto al segundo eje (11) es mayor que 10 grados y menor que 80 grados.
 9. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además medios para ajustar el ángulo de inclinación (θ).
 10. Dispositivo según la reivindicación 9, que comprende además medios para seleccionar una velocidad angular de salida deseada (ω_{out}) alrededor del al menos un eje de salida y hacer que los medios de ajuste ajusten el ángulo de inclinación (θ) dependiendo de la velocidad angular de salida seleccionada (ω_{out}).
 11. Dispositivo según la reivindicación 9 o reivindicación 10, que comprende además medios para seleccionar un par de salida deseado del dispositivo y ajustar el ángulo de inclinación (θ) dependiendo del par de salida seleccionado.
 12. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios (15) para aplicar un par (21) alrededor del tercer eje (16) comprenden un resorte.
 13. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios (15) para aplicar un par (21) alrededor del tercer eje (16) comprenden uno o más de: un gato hidráulico, un gato neumático, un gato electromagnético.
 14. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios (210) limitantes están dispuestos para evitar cualquier rotación del cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16) en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación (θ).
 15. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios (15) para aplicar un par (21) alrededor del tercer eje (16) sirven adicionalmente como medios (210) limitantes.
 16. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios (210) limitantes comprenden un tope.
 17. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer eje (4) pasa sustancialmente a través del centro de masa (CM) del cuerpo (2).

18. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el segundo eje (11) pasa sustancialmente a través del centro de masa (CM) del cuerpo (2).
19. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer eje (4) y el segundo eje (11) se intersecan.
- 5 20. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, en el que el primer eje (4) y el segundo eje (11) no se intersecan y el ángulo de inclinación (θ) está definido como el ángulo agudo entre el primer eje (4) y el segundo eje (11) cuando se ven a lo largo de la dirección de la línea más corta que une el primer eje (4) y el segundo eje (11).
- 10 21. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cuerpo (2) es sustancialmente simétrico de manera cilíndrica alrededor del primer eje (4).
22. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 21, en el que el cuerpo (2) comprende un cubo y una malla y un borde de forma de anillo.
- 15 23. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cuerpo (2) está hecho de un material que tiene un módulo de elasticidad por encima de 70 GPa, preferiblemente por encima de 100 GPa.
24. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además medios para montar dicho dispositivo.
25. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una o más masas de equilibrio montadas para la rotación alrededor del segundo eje.
- 20 26. Dispositivo según las secciones A) a F) de la reivindicación 1, preferiblemente según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que un ángulo entre el vector del par (21) aplicado al cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16) y el vector de la velocidad angular de salida (ω_{out}) alrededor del segundo eje (11) está entre 85 grados y 93 grados, preferiblemente cerca de 90 grados.
- 25 27. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el cuerpo (2) está montado en un árbol (3, 30) que está hecho de un material con un módulo de elasticidad por encima de 70 GPa, preferiblemente por encima de 100 GPa.
28. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que un árbol (110) de salida a lo largo del al menos un eje de salida está hecho de un material con un módulo de elasticidad por encima de 70 GPa, preferiblemente por encima de 100 GPa.
- 30 29. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las partes del dispositivo, sobre las que actúan fuerzas variables están hechas de uno o más materiales con un módulo de elasticidad por encima de 70 GPa, preferiblemente por encima de 100 GPa.
- 35 30. Dispositivo según las secciones A) a F) de la reivindicación 1, preferiblemente según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además uno o más sensores para medir valores de uno o más de los siguientes parámetros:
la rotación alrededor del primer eje (4) y/o del segundo eje (11) y/o del tercer eje (16), la velocidad angular de la rotación alrededor del primer eje (4) y/o del segundo eje (11) y/o del tercer eje (16), la posición del cuerpo (2) y/o el primer eje (4) y/o el segundo eje (11) y/o el tercer eje (16), el par de la rotación alrededor del primer eje (4) y/o del segundo eje (11) y/o del tercer eje (16), una fuerza.
- 40 31. Dispositivo según las secciones A) a F) de la reivindicación 1, preferiblemente según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además medios para limitar mecánicamente la rotación del cuerpo (2) alrededor del eje (16) de inclinación en ambos sentidos entre un valor de ángulo límite inferior y un valor de ángulo límite superior y medios para ajustar estos valores de ángulo límite durante el funcionamiento de dicho dispositivo, a un valor de ángulo límite inferior elegido mayor que 0 grados y menor que 90 grados y un valor de ángulo límite superior mayor que el valor de ángulo límite inferior elegido y menor que 90 grados.
- 45 32. Dispositivo según la reivindicación 31, en el que los medios para limitar mecánicamente la rotación del cuerpo (2) son uno o más topes.

- 5 33. Conjunto de dos o más dispositivos de multiplicación, preferiblemente dispositivos motores, cada uno de los cuales comprende un dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en combinación con medios para hacer que cada uno de dichos dispositivos rote a sustancialmente la misma velocidad de rotación pero a diferentes ángulos de fase y medios para combinar la velocidad angular de salida (ω_{out}) y/o el par de salida de dichos dispositivos.
34. Vehículo impulsado por un dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 32 o por un conjunto según la reivindicación 33.
35. Vehículo según la reivindicación 34 en forma de vehículo de carretera.
36. Vehículo según la reivindicación 34 en forma de aeronave.
- 10 37. Vehículo según la reivindicación 34 en forma de vehículo acuático.
38. Generador de electricidad que comprende un dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 32 o un conjunto según la reivindicación 33.
39. a) Método para proporcionar rotación alrededor de al menos un eje de salida, comprendiendo el método:
- 15 b) montar un cuerpo (2) para una rotación alrededor de un primer eje (4) y una rotación alrededor de un segundo eje (11) y una rotación alrededor de un tercer eje (16), estando orientado el primer eje (4) con respecto al segundo eje (11) con un ángulo de inclinación (θ), constituyendo el segundo eje (11) y/o el tercer eje (16) el al menos un eje de salida, en el que la rotación del cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16) da origen a un cambio en el ángulo de inclinación (θ),
- 20 c) hacer rotar el cuerpo (2) alrededor del primer eje (4) a una velocidad angular (ω_{spin}) mayor que una velocidad angular crítica (ω_c),
- d) aplicar un par (21) al cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16) en un sentido de aumentar el ángulo de inclinación (θ) cuando el primer eje (4) forma un ángulo de inclinación seleccionado (θ) con respecto al segundo eje (11) que es mayor que 0 grados y menor que 90 grados, y
- 25 e) limitar la rotación del cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16) en un sentido de disminuir el ángulo de inclinación (θ) de modo que el ángulo de inclinación (θ) del primer eje (4) con respecto al segundo eje (11) permanece mayor que 0 grados y menor que 90 grados,
- f) de modo que se alcanza un ángulo de inclinación (θ) constante o decreciente, iniciando o aumentando de este modo una velocidad angular de salida (ω_{out}) y/o un par de salida de la rotación del cuerpo (2) alrededor del segundo eje (11) y/o alrededor del tercer eje (16) como dicho al menos un eje de salida,
- 30 g) mediante lo cual el método comprende además:
- utilizar un cuerpo (2) con una velocidad angular crítica específica ($\omega_{c,spec}$) de menos de 20000 revoluciones por minuto, para preferiblemente aumentar de este modo una energía de salida alrededor del al menos un eje de salida,
- mediante lo cual dicha velocidad angular crítica específica ($\omega_{c,spec}$) está definida como sigue:
- 35 la velocidad angular crítica específica ($\omega_{c,spec}$) es la velocidad angular crítica (ω_c) del cuerpo (2)
- cuando el ángulo de inclinación (θ) del primer eje (4) con respecto al segundo eje (11) es 45 grados,
- cuando el primer eje (4) pasa sustancialmente a través del centro de masa (CM) del cuerpo (2),
- cuando el cuerpo (2) está orientado de modo que el momento de inercia del cuerpo (2) está sustancialmente maximizado,
- 40 cuando, si el cuerpo (2) no es simétrico alrededor de un plano que pasa a través del centro de masa (CM) del cuerpo (2) y que es ortogonal al primer eje (4), entre las posibles orientaciones de montaje del cuerpo (2) en el primer eje (4) se elige aquella que da como resultado una menor distancia entre el centro de masa (CM) del cuerpo (2) y el tercer eje (16), y

cuando la longitud de un brazo de conexión (l_c) es

- a) 5 mm si la masa del cuerpo (2) es menor que 0,1 kg,
- b) 25 mm si la masa del cuerpo (2) es igual a o mayor que 0,1 kg y menor que 100 kg,
- c) 50 mm si la masa del cuerpo (2) es igual a o mayor que 100 kg y menor que 1000 kg, y
- d) 100 mm si la masa del cuerpo (2) es igual a o mayor que 1000 kg,

mediante lo cual dicha longitud del brazo de conexión (l_c) es la distancia del punto de intersección de un plano de conexión (P_c) y del primer eje (4) al tercer eje (16), mediante lo cual dicho plano de conexión (P_c) es un plano que es ortogonal al primer eje (4) e interseca el cuerpo (2) y tiene la distancia mínima al eje (16) de inclinación.

- 10 40. Método según la reivindicación 39, que comprende además:
proporcionar un par adicional, externo al cuerpo (2) alrededor del segundo eje para aplicar una aceleración inicial.
- 41. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 39 y 40, que comprende además:
15 controlar la fuente de energía motriz con el objeto de hacer que el cuerpo (2) rote alrededor del primer eje (4) a dicha velocidad angular (ω_{spin}) mayor que la velocidad angular crítica (ω_c).
- 42. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 39 a 41, que comprende además:
seleccionar el ángulo de inclinación seleccionado (θ) mayor que 10 grados y menor que 80 grados.
- 43. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 39 a 42, que comprende además:
controlar la magnitud del par (21) aplicado al cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16).
- 20 44. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 39 a 43, que comprende además:
limitar la rotación del cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16) de modo que el ángulo de inclinación (θ) del primer eje (4) con respecto al segundo eje (11) es mayor que 10 grados y menor que 80 grados.
- 45. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 39 a 44, que comprende además:
ajustar el ángulo de inclinación (θ).
- 25 46. Método según la reivindicación 45, que comprende además:
generar una velocidad angular de salida deseada (ω_{out}) alrededor de uno del al menos un eje de salida mediante el ajuste del ángulo de inclinación (θ).
- 47. Método según la reivindicación 45, que comprende además:
30 generar un par de salida deseado alrededor de uno del al menos un eje de salida mediante el ajuste del ángulo de inclinación (θ).
- 48. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 39 a 47, que comprende además:
ajustar la velocidad angular (ω_{spin}) del cuerpo (2) alrededor del primer eje (4).
- 49. Método según la reivindicación 48, que comprende además:
35 generar una velocidad angular de salida deseada (ω_{out}) alrededor de uno del al menos un eje de salida mediante el ajuste de la velocidad angular (ω_{spin}) del cuerpo (2) alrededor del primer eje (4).

50. Método según la reivindicación 48, que comprende además:
generar un par de salida deseado alrededor de uno del al menos un eje de salida mediante el ajuste de la velocidad angular (ω_{spin}) del cuerpo (2) alrededor del primer eje (4).
51. Método según cualquiera de las reivindicaciones 39 a 50, que comprende además:
5 ajustar el par (21) aplicado al cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16).
52. Método según la reivindicación 51, que comprende además:
generar una velocidad angular de salida deseada (ω_{out}) alrededor de uno del al menos un eje de salida mediante el ajuste del par (21) aplicado al cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16).
53. Método según la reivindicación 51, que comprende además:
10 generar un par de salida deseado alrededor de uno del al menos un eje de salida mediante el ajuste del par aplicado al cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16).
54. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 39 a 53, en el que la limitación de la rotación del cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16) comprende además:
15 evitar cualquier rotación del cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16) en el sentido de disminuir el ángulo de inclinación (θ).
55. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 39 a 54, que comprende además:
20 utilizar parte de la energía de rotación proporcionada alrededor del al menos un eje de salida para llevar a cabo la rotación del cuerpo (2) alrededor del primer eje (4) cuando el ángulo de inclinación (θ) y la magnitud del par (21) aplicado alrededor del tercer eje (16) y la velocidad angular de salida (ω_{out}) alrededor del al menos un eje de salida son constantes.
56. Método según la reivindicación 55, en el que la cantidad de energía de rotación así utilizada es suficiente para superar las pérdidas de energía a partir de la fricción debida a la rotación del cuerpo (2) alrededor del primer eje (4).
57. Método según las secciones a) a f) de la reivindicación 39, preferiblemente según una cualquiera de las reivindicaciones 39 a 56, que comprende además:
25 aplicar el par (21) al cuerpo (2) alrededor del tercer eje (16) aplicando el par exclusivamente mediante el peso del cuerpo (2) o aplicando el par mediante medios externos y adicionalmente mediante el peso del cuerpo (2).
58. Método según las secciones a) a f) de la reivindicación 39, preferiblemente según una cualquiera de las reivindicaciones 39 a 57, que comprende además:
30 medir valores de uno o más de los siguientes parámetros:
la rotación alrededor del primer eje (4) y/o el segundo eje (11) y/o el tercer eje (16),
la velocidad angular de la rotación alrededor del primer eje (4) y/o el segundo eje (11) y/o el tercer eje (16),
la posición del cuerpo (2) y/o el primer eje (4) y/o el segundo eje (11) y/o el tercer eje (16),
35 el par de la rotación alrededor del primer eje (4) y/o el segundo eje (11) y/o el tercer eje (16),
una fuerza.
59. Método según las secciones a) a f) de la reivindicación 39, preferiblemente según una cualquiera de las reivindicaciones 39 a 58, que comprende además:
limitar mecánicamente la rotación del cuerpo (2) alrededor del eje (16) de inclinación en ambos sentidos

- entre un valor de ángulo límite inferior y un valor de ángulo límite superior y ajustar, mientras se proporciona rotación durante el funcionamiento del dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor, estos valores de ángulo límite a un valor de ángulo límite inferior elegido mayor que 0 grados y menor que 90 grados y un valor de ángulo límite superior mayor que el valor de ángulo límite inferior elegido y menor que 90 grados.
- 5
60. Método según las secciones a) a f) de la reivindicación 39, preferiblemente según una cualquiera de las reivindicaciones 39 a 59, que comprende además:
- aumentar una energía de salida suministrada alrededor del al menos un eje de salida mediante la disminución de una distancia entre el centro de masa (CM) del cuerpo (2) y el segundo eje (11).
- 10 61. Método según las secciones a) a f) de la reivindicación 39, preferiblemente según una cualquiera de las reivindicaciones 39 a 60, que comprende además:
- aumentar una energía de salida suministrada alrededor del al menos un eje de salida mediante la disminución de una variación de un ángulo entre un vector normal de un primer plano del bastidor y un vector normal de un segundo plano del bastidor, estando definido el plano del bastidor como un plano que pasa a través de tres puntos no lineales de un bastidor en el que está montado el dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor.
- 15
62. Método según la reivindicación 61, que comprende además:
- mantener dicha variación menor que 5 grados.
- 20 63. Método según las secciones a) a f) de la reivindicación 39, preferiblemente según una cualquiera de las reivindicaciones 39 a 62, que comprende además:
- aumentar una energía de salida suministrada alrededor del al menos un eje de salida mediante la disminución de una variación de un ángulo entre un vector de la velocidad angular de salida (ω_{out}) alrededor del al menos un eje de salida y un vector normal de un plano del bastidor, estando definido el plano del bastidor como un plano que pasa a través de tres puntos no lineales de un bastidor en el que está montado el dispositivo de multiplicación, preferiblemente un dispositivo motor.
- 25
64. Método según la reivindicación 63, que comprende además:
- mantener dicha variación menor que 5 grados.
65. Método según las secciones a) a f) de la reivindicación 39, preferiblemente según una cualquiera de las reivindicaciones 39 a 64, que comprende además:
- 30
- aumentar una energía de salida suministrada alrededor del al menos un eje de salida mediante la disminución de una variación en un ángulo entre el vector de la velocidad angular del movimiento angular del cuerpo (2) alrededor del primer eje (4) y un vector normal de un plano del cuerpo, estando definido el plano del cuerpo como un plano que pasa a través de tres puntos no lineales del cuerpo (2).
66. Método según la reivindicación 65, que comprende además:
- 35
- mantener dicha variación menor que 5 grados.

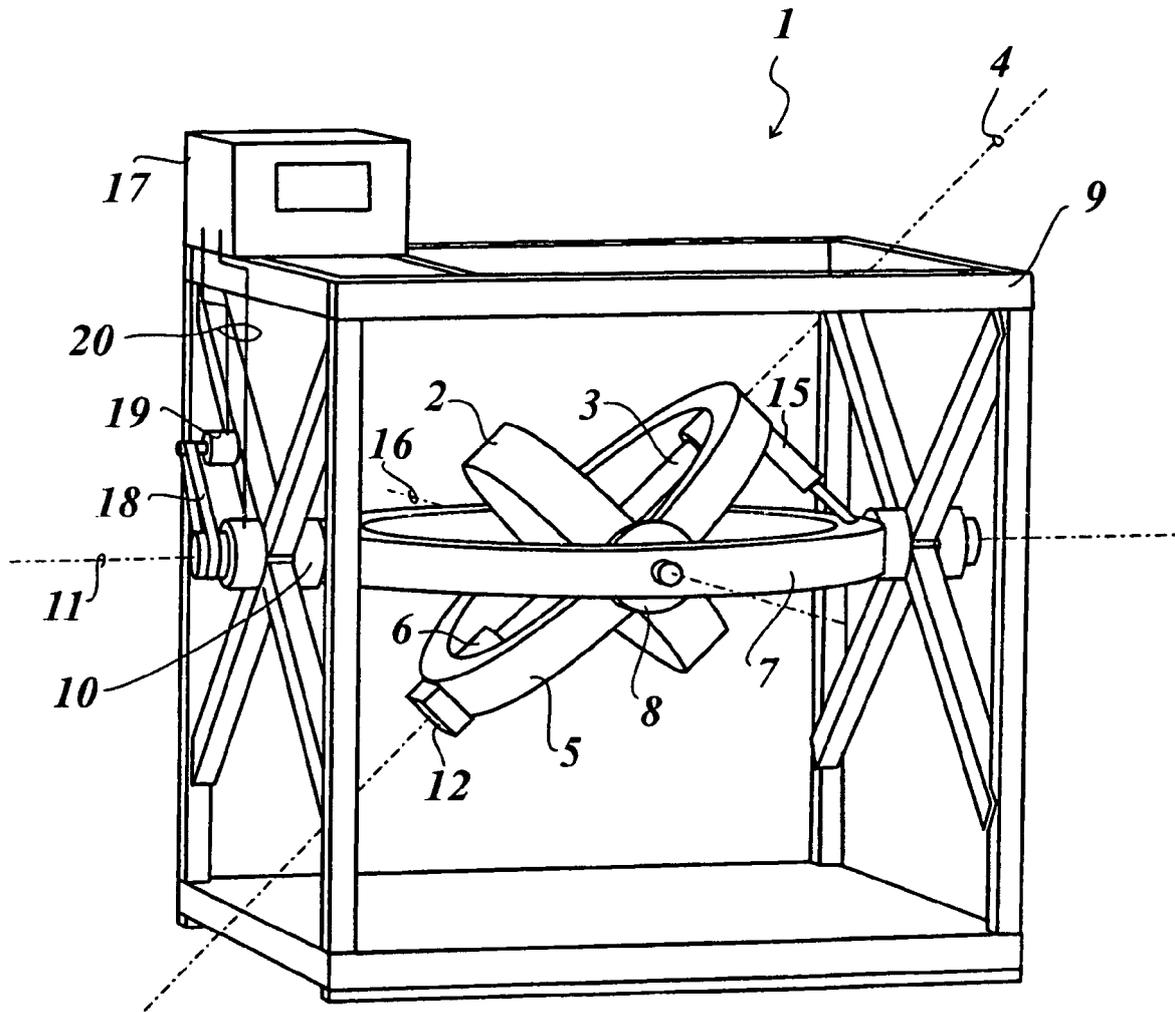


Fig. 1

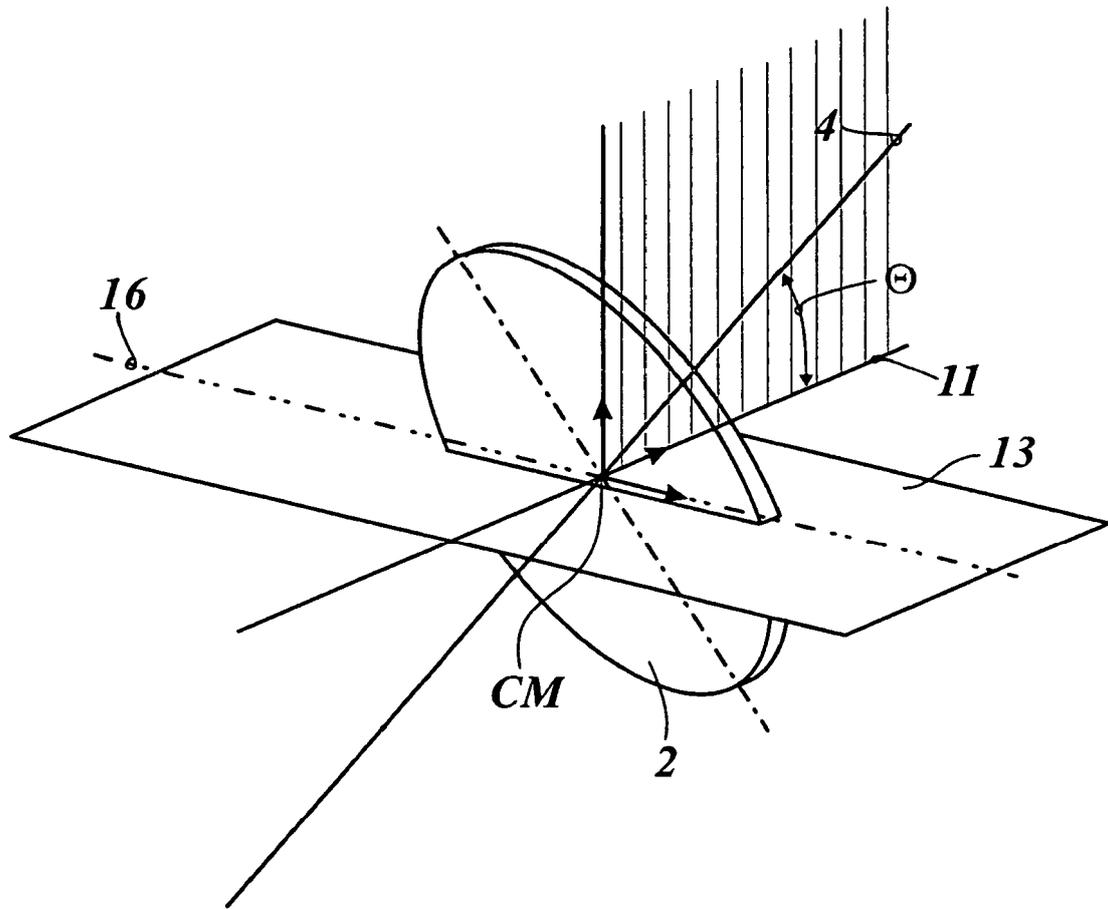


Fig. 2

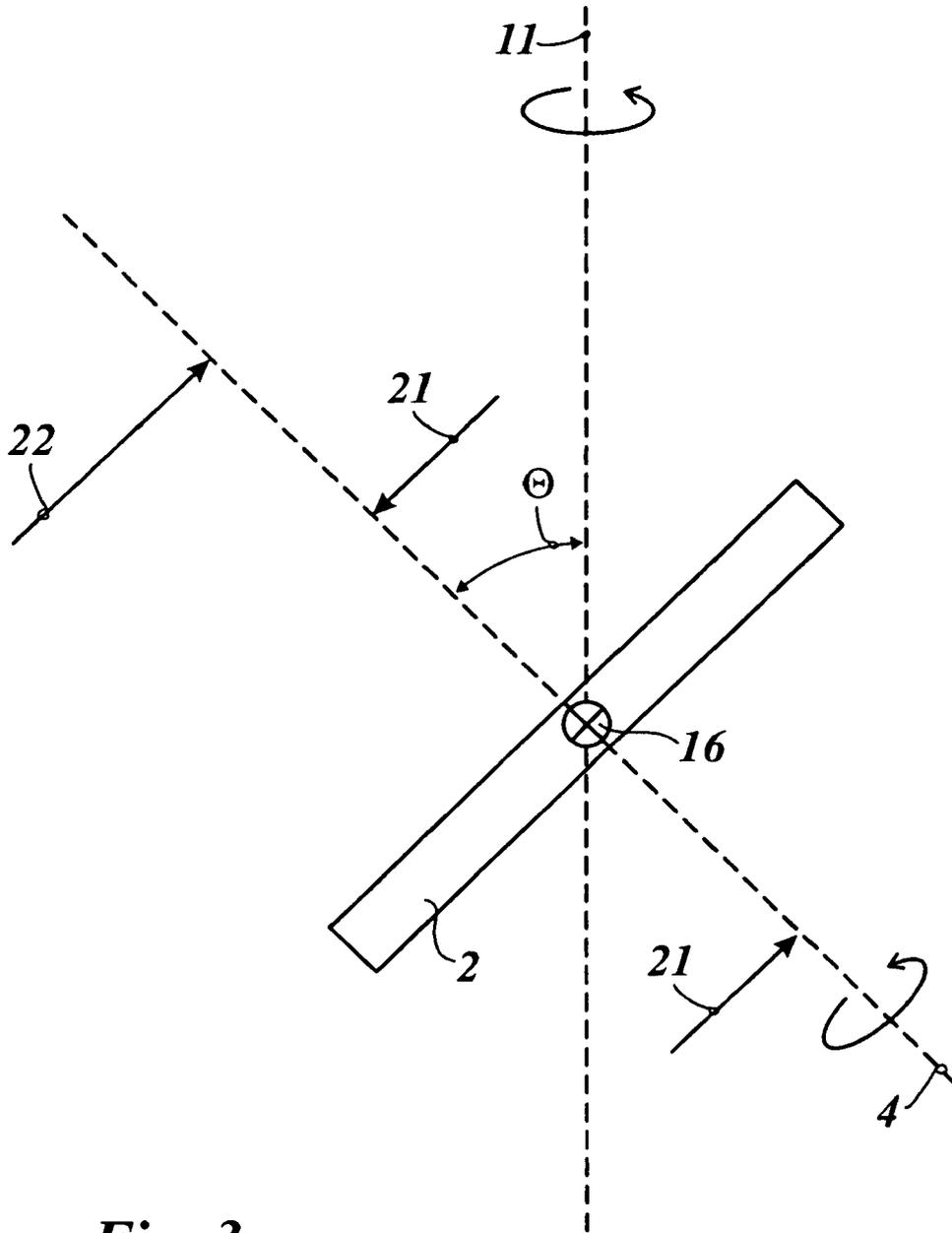


Fig. 3

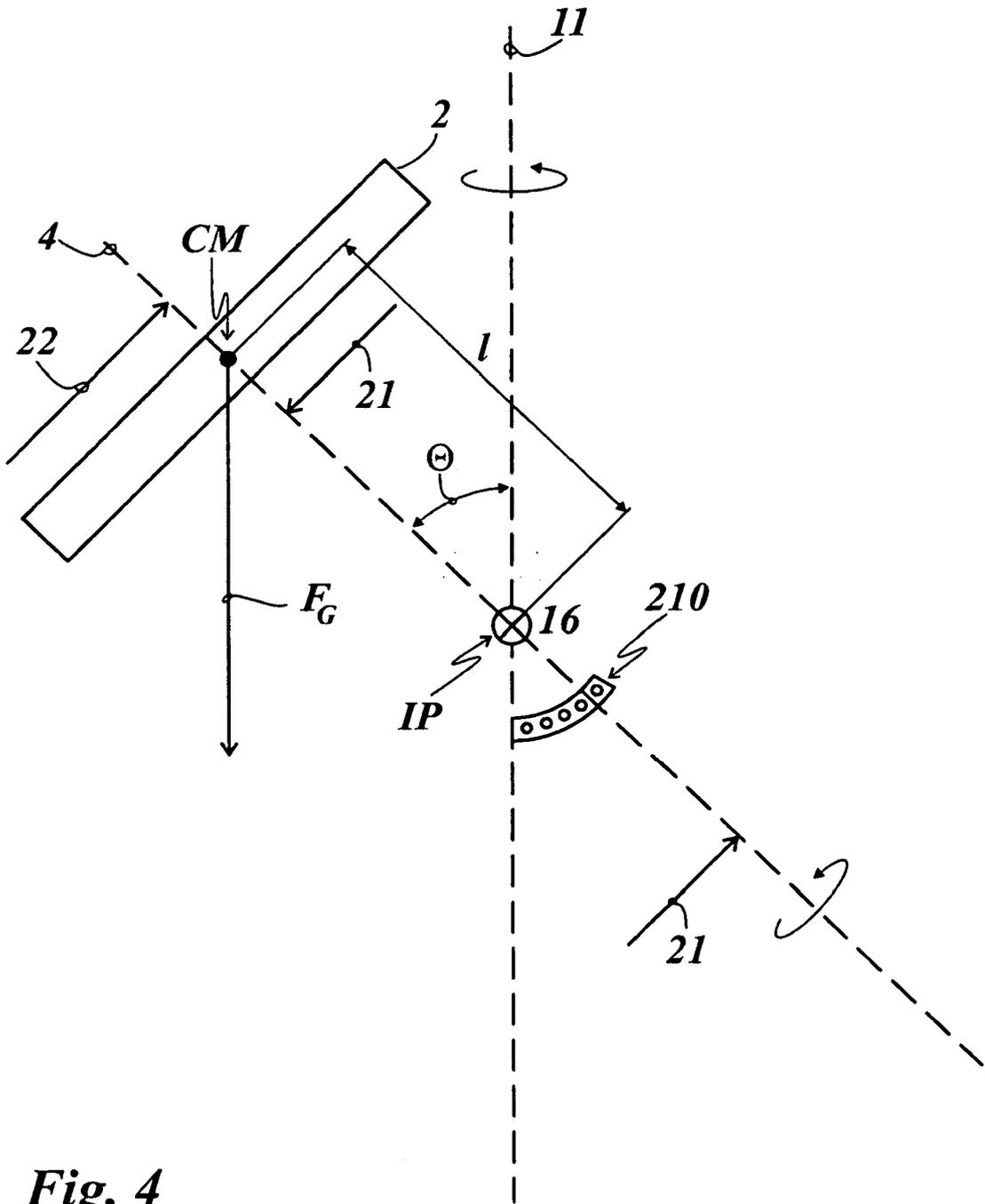


Fig. 4

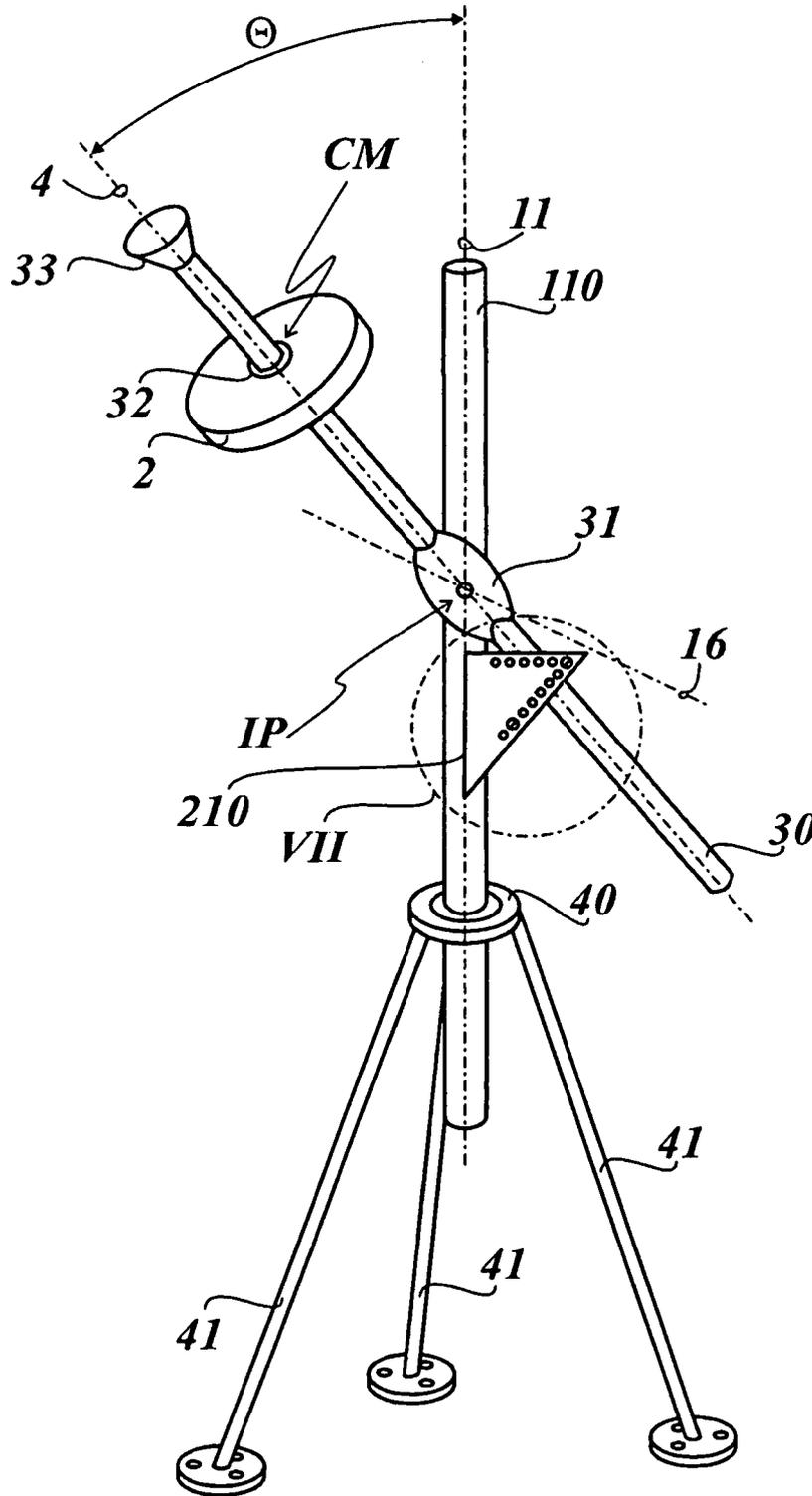


Fig. 6

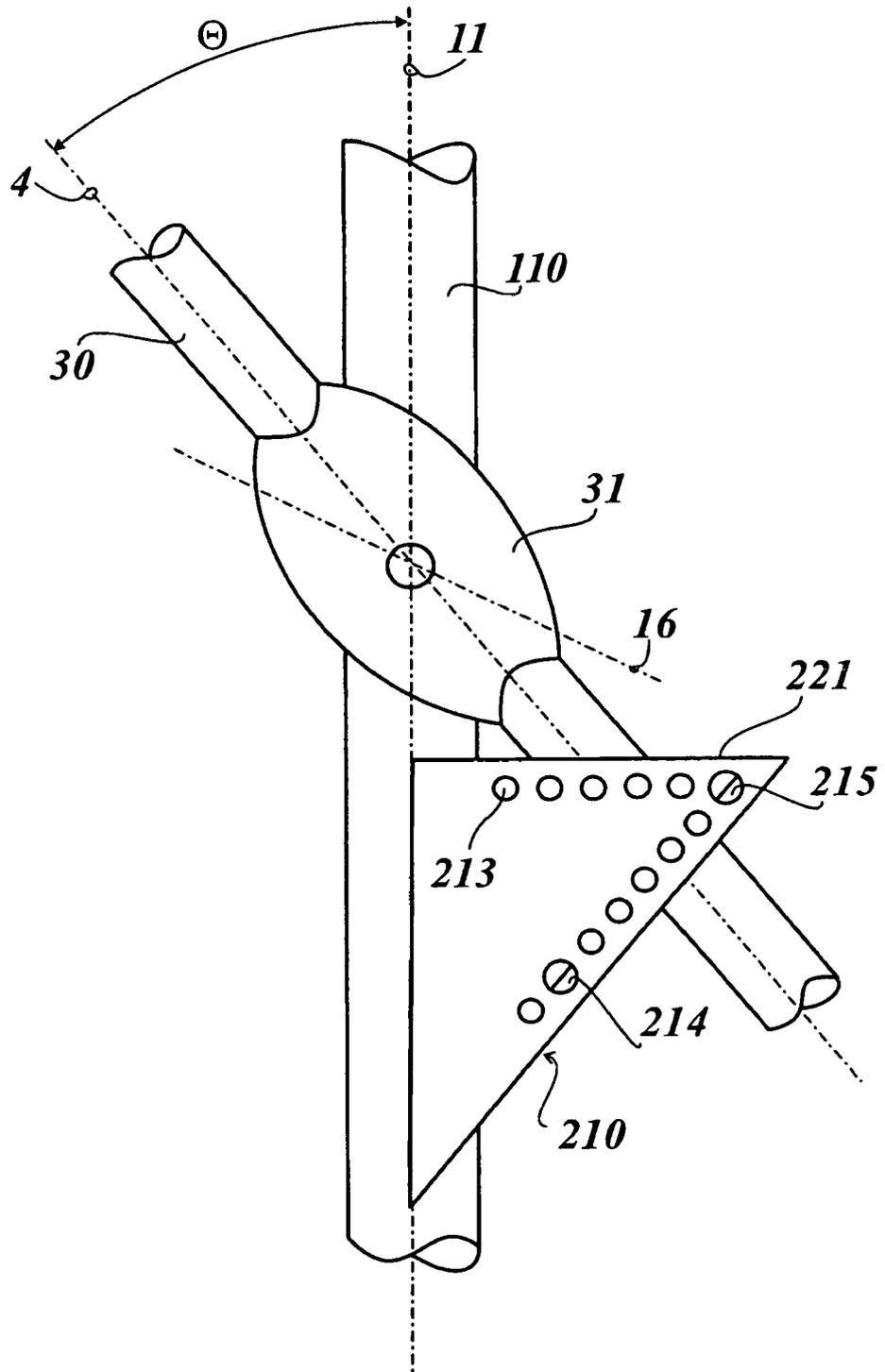


Fig. 7

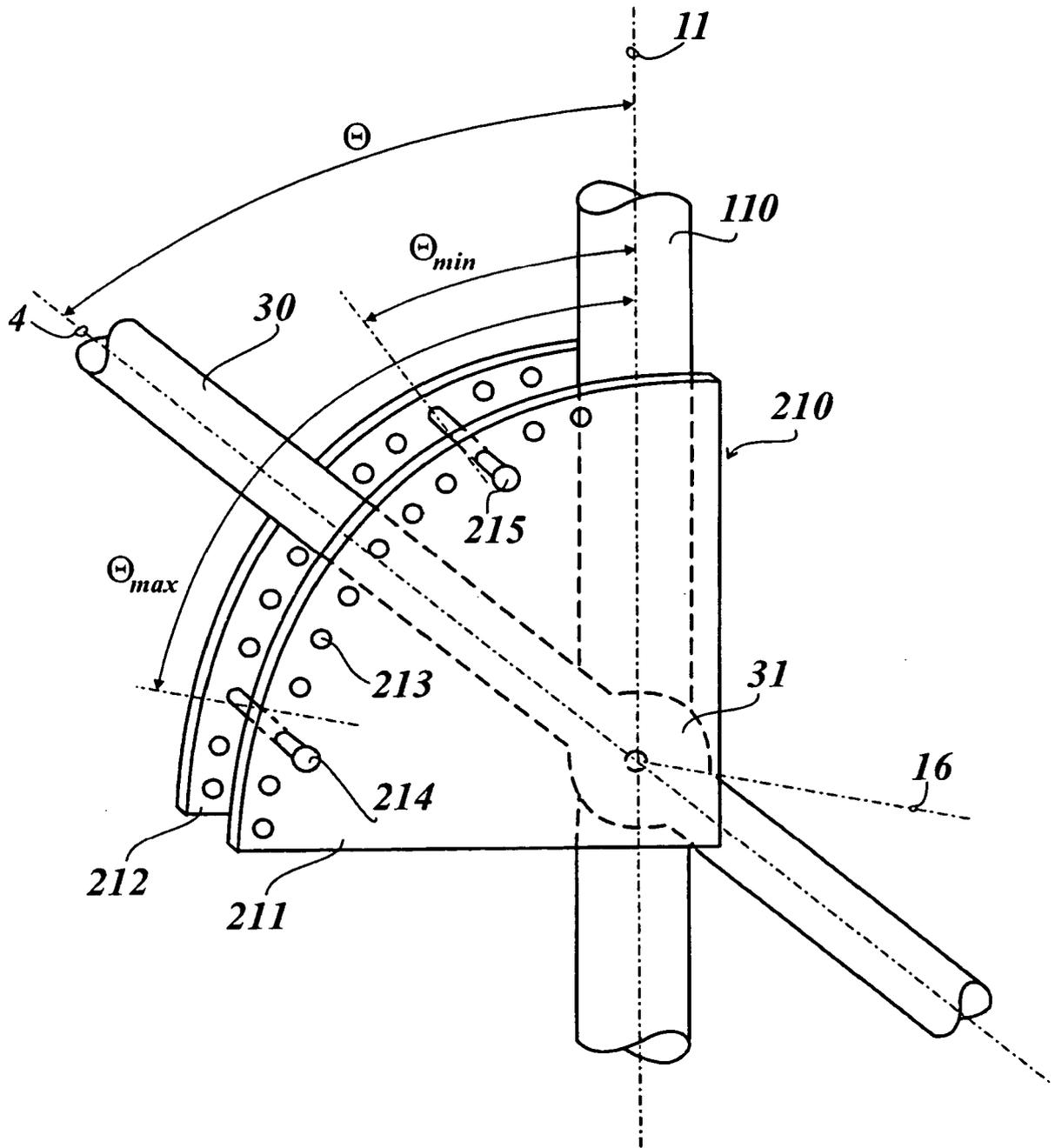


Fig. 8

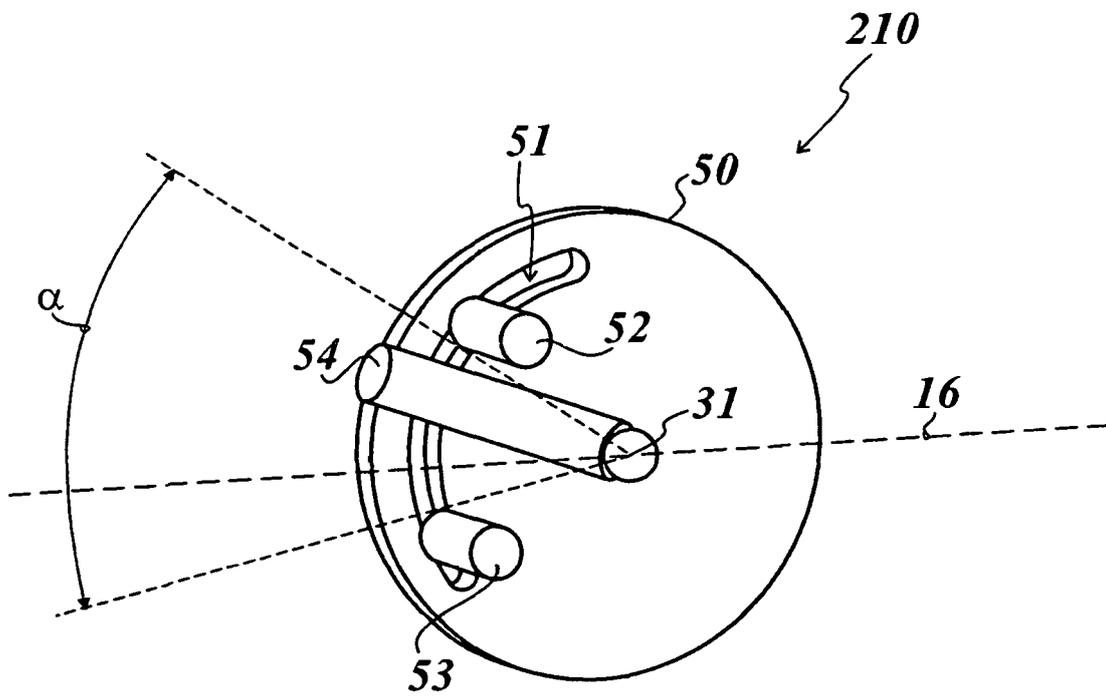


Fig. 9

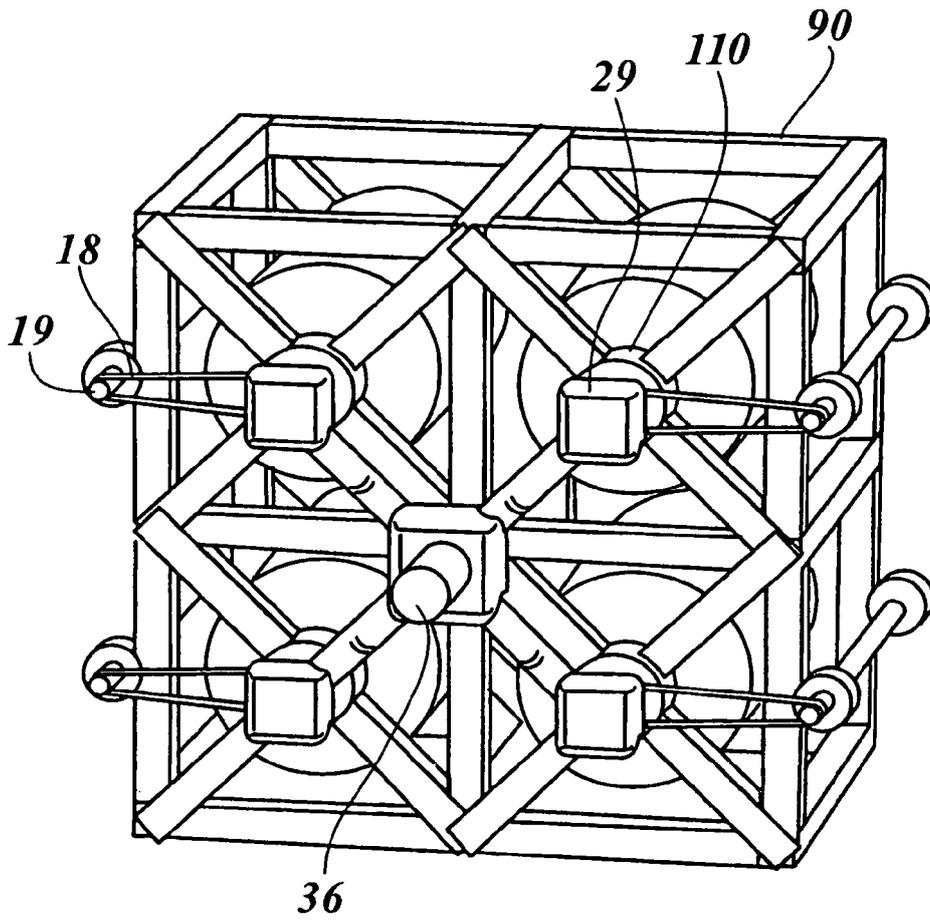


Fig. 10

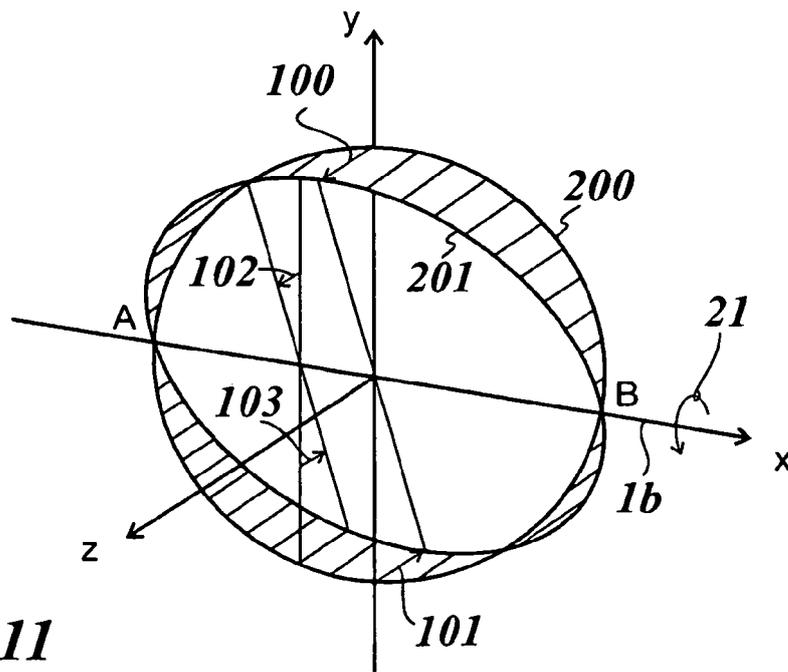


Fig. 11

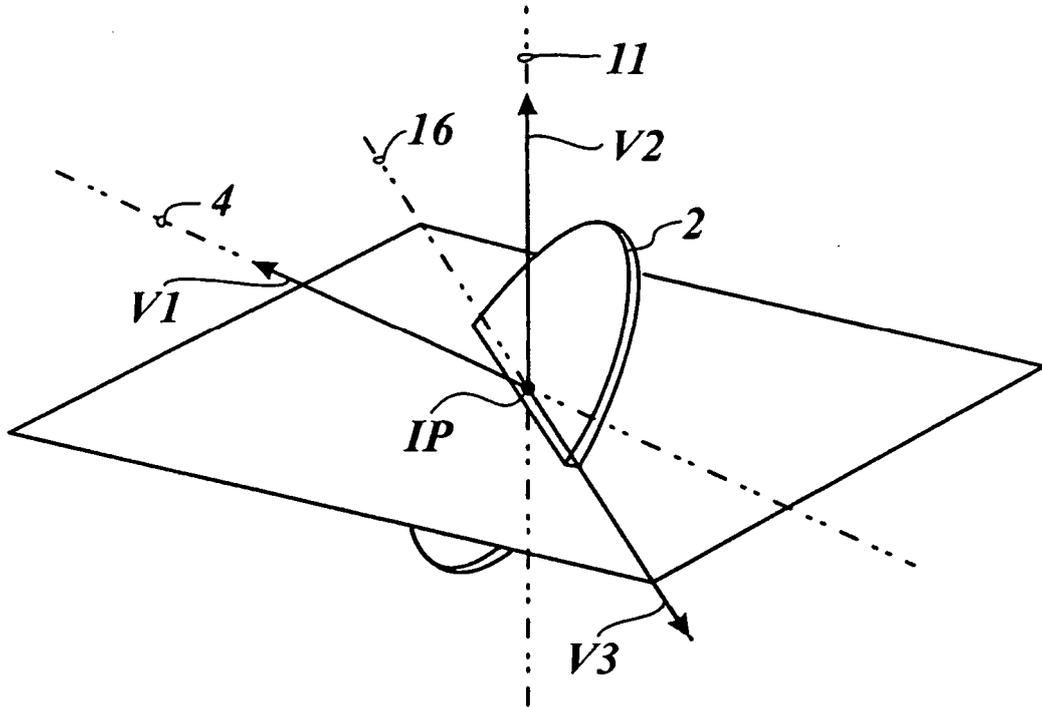


Fig. 12

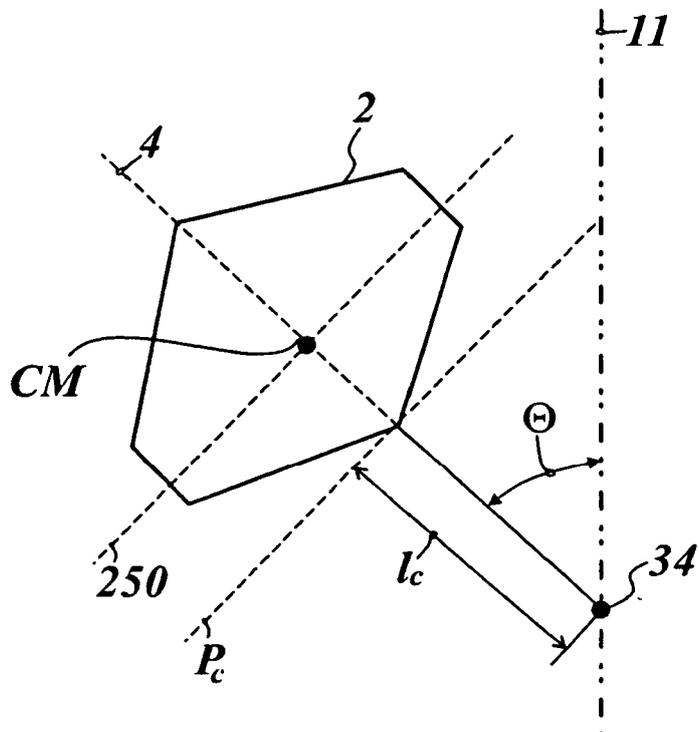


Fig. 13