

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 808 848**

51 Int. Cl.:

F03B 13/18

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.01.2015** **PCT/EP2015/050794**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.07.2015** **WO15107158**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.01.2015** **E 15700584 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2020** **EP 3102818**

54 Título: **Convertidor de energía de las olas**

30 Prioridad:

20.01.2014 GB 201400906

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

02.03.2021

73 Titular/es:

**NORWEGIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND
TECHNOLOGY (NTNU) (100.0%)**

**Sem Sælands vei 14
7491 Trondheim, NO**

72 Inventor/es:

TODALSHAUG, JØRGEN HALS

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 808 848 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

Convertidor de energía de las olas

5 La invención se refiere a un convertidor de energía de las olas para extraer energía de las olas del océano, y a un método para extraer energía de las olas del océano. La energía extraída puede usarse, por ejemplo, para generar energía eléctrica.

10 La energía es transportada por las olas del océano. En la búsqueda de fuentes de energía con baja huella de carbono, se ha trabajado mucho en la conversión de la energía de las olas oceánicas en formas útiles de energía, como la electricidad. Un campo de dicho trabajo se centra en los llamados absorbedores puntuales. Los absorbedores puntuales son efectivamente boyas individuales que flotan en la superficie del océano que sufren desplazamientos debido a las olas oceánicas incidentes. Este desplazamiento se puede utilizar para convertir la energía de las olas en formas útiles de energía. Un ejemplo de tal absorbente puntual se da en el documento WO 99/22137.

15 Además, es conocido en el campo de la conversión de energía de las olas el uso de boyas pretensadas. El pretensado de una boya (por ejemplo, al obligarlo a sumergirse a una profundidad mayor que su profundidad flotante natural) tiene el efecto de proporcionar una masa negativa al sistema oscilante y, por lo tanto, reducir efectivamente la inercia de la boya, y aumentar su respuesta a las olas incidentes.

20 El documento US 8 629 572 divulga un convertidor de energía de ola que comprende una boya que puede oscilar en relación con una subunidad fija, estando dicha boya y subunidad fija conectadas por un resorte positivo.

25 El documento US 4 134 023 divulga un pato de cabeceo para extraer energía de las olas en el agua donde un sistema de control genera una fuerza de retroalimentación relacionada con uno o más de los parámetros de movimiento.

30 Vista desde un primer aspecto, la presente invención proporciona un convertidor de energía de las olas para extraer energía de las olas del océano que comprende: una boya dispuesta para oscilar con respecto a un punto de referencia alrededor de una posición de equilibrio; y un dispositivo de resorte conectado entre la boya y el punto de referencia en el que la posición de equilibrio es la posición en la que el dispositivo de resorte no proporciona fuerza en una dirección de movimiento oscilatorio de la boya; caracterizado porque: el dispositivo de resorte es un dispositivo de resorte negativo que comprende un resorte mecánico, en el que el dispositivo de resorte negativo es para aplicar una fuerza positiva en la dirección de desplazamiento cuando la boya se aleja de la posición de equilibrio.

35 Mediante el uso de un resorte negativo, es posible aumentar el rango de movimiento de la boya porque el efecto de resorte negativo contrarrestará la rigidez hidrostática de la boya y la resistencia natural de la boya a la oscilación, por ejemplo, debido al equilibrio entre la flotabilidad y la gravedad. Con el uso de un resorte negativo, se puede hacer que una boya tenga una rigidez aparente que es muy baja para un rango de movimiento dado, lo que significa que puede diseñarse para oscilar con una mayor amplitud de movimiento que las boyas de la técnica anterior cuando es excitada por movimientos de ola en un rango de frecuencias mayor que el que afectaría a las boyas de la técnica anterior (es decir, se aumenta el ancho de banda de la frecuencia de ola que provocará una oscilación resonante de la boya) el resultado de esto es que una boya con un resorte negativo como se describió anteriormente se puede usar de manera más fácil y efectiva como fuente de conversión de energía en un mayor rango de frecuencias de ola. Se ha encontrado que el uso de un resorte negativo puede proporcionar un aumento de al menos el 100 % en la energía entregada para un sistema de boya de agitación. Es decir, en una comparación experimental de una boya de agitación con un resorte negativo y una boya de agitación estándar (sin resorte negativo), entonces la potencia de salida promedio se duplica al menos en comparación con el sistema estándar. Un mayor rango de movimiento para la boya también puede simplificar el acoplamiento de la boya a otros dispositivos para la conversión de energía, por ejemplo, a dispositivos mecánicos o electromecánicos. La presente invención puede usarse para una boya pretensada, o para una boya no pretensada. Sin embargo, el uso de una boya pretensada puede aumentar aún más la respuesta de la boya a las olas incidentes.

55 Las olas oceánicas incidentes relevantes para la conversión de energía de las olas típicamente tienen períodos de olas en el rango de 4 s a 14 s, y tienen alturas de olas típicamente de hasta 5 m, y en algunas condiciones extremas de hasta 10 m o más.

60 La posición de equilibrio de la boya es una posición en la que la boya no experimenta una fuerza de restauración/aceleración cuando oscila. Esta es típicamente la posición en la que la boya estaría en relación con el punto de referencia cuando no hay energía de ola presente, es decir, cuando está en reposo, y sin ningún efecto que pueda surgir del dispositivo de resorte negativo. La boya puede estar flotando en la superficie del océano, o puede estar semisumergida o sumergida.

65 El punto de referencia es un punto sobre el que oscila la boya. El dispositivo de resorte negativo está acoplado entre la boya y el punto de referencia, ya que cuando la boya se mueve con respecto al punto de referencia, el dispositivo de resorte libera o almacena energía. El punto de referencia puede ser un punto fijo. El punto de referencia puede fijarse en relación con el lecho marino, o en relación con una estructura, por ejemplo, una estructura que sufre

significativamente menos movimiento que la boya. Dicha estructura puede ser un muelle o una gran estructura flotante/sumergida/semisumergida (es decir, una estructura significativamente más grande que la boya flotante). La estructura no debe oscilar significativamente debido a la energía de la ola incidente a la misma frecuencia que la boya, de modo que la boya pueda oscilar debido a la energía de la ola incidente en relación con la estructura. Cuando el punto fijo se une al lecho marino, puede considerarse como un punto absolutamente fijo.

La oscilación puede ser una oscilación de movimiento lineal, o una oscilación rotacional, o una combinación de los dos. El movimiento general puede ser la superposición de varios movimientos de traslación y/u oscilación. De manera similar, el dispositivo de resorte puede incluir elementos de resorte que liberan o almacenan energía cuando hay un movimiento lineal y/u oscilatorio. Por ejemplo, un resorte helicoidal, un resorte de voluta o un resorte de pistón de gas se pueden comprimir mediante un movimiento lineal y almacenar energía que se libera cuando se expanden. Un resorte de torsión espiral o barra de torsión se deformará y almacenará energía cuando esté sujeto a un movimiento de rotación.

El dispositivo de resorte negativo es un dispositivo de resorte que es capaz de producir una fuerza en una dirección de desplazamiento de la boya cuando la boya se desplaza de su posición de equilibrio. El dispositivo de resorte negativo no proporciona fuerza en una dirección de movimiento oscilatorio de la boya cuando la boya está en su posición de equilibrio. La magnitud de la fuerza proporcionada por el dispositivo de resorte negativo en la dirección de desplazamiento de la boya puede cambiar a medida que la boya se aleja de su posición de equilibrio. Este cambio en la fuerza puede deberse a la geometría del sistema. Este cambio de fuerza puede comenzar a actuar cuando la boya se desplaza de su posición de equilibrio. La fuerza producida por el dispositivo de resorte negativo puede actuar para empujar la boya a lo largo de la dirección de desplazamiento de la oscilación. Al diseñar cuidadosamente el dispositivo de resorte negativo, es posible hacer coincidir las fuerzas del resorte con otras fuerzas en el sistema, por ejemplo, las fuerzas debidas a la flotabilidad y la gravedad de la boya. En una disposición de ejemplo, el resorte negativo puede proporcionar una fuerza que inicialmente aumenta con el desplazamiento cuando la boya se aleja de la posición de equilibrio.

El dispositivo de resorte negativo puede proporcionar tal fuerza al estar en un estado de compresión cuando la boya está en su posición de equilibrio y al permitir que se expanda cuando la boya se desplaza de la posición de equilibrio. El resorte negativo puede estar en un estado de compresión máxima cuando la boya está en su posición de equilibrio, por ejemplo, para un resorte lineal, la distancia entre el punto de referencia y el punto en el que el resorte negativo se conecta a la boya puede ser mínima cuando la boya está en su posición de equilibrio. El dispositivo de resorte negativo puede actuar empujando la boya con respecto al punto fijo a medida que la boya se desplaza de su posición de equilibrio.

El dispositivo de resorte negativo puede configurarse para proporcionar una rigidez negativa que actúa contra la rigidez hidrostática de la boya. El dispositivo de resorte negativo puede producir una rigidez total alrededor del punto de equilibrio que es menor que la rigidez hidrostática (sin el resorte negativo). La rigidez hidrostática puede reducirse típicamente en un factor de aproximadamente 5, o más, dependiendo de otras propiedades del sistema de boya. La rigidez hidrostática puede reducirse en un factor de 10 o más. La rigidez puede reducirse de esta manera para un rango dado de movimiento alrededor del punto de equilibrio. Para un oscilador de movimiento lineal, la rigidez puede reducirse sustancialmente para desplazamientos de alrededor de ± 1 a 5 m. La rigidez puede reducirse a través de la carrera disponible de la boya. Para un oscilador rotativo, la rigidez típicamente puede reducirse sustancialmente para desplazamientos de alrededor de ± 0.1 a 0.5 rad. Para desplazamientos que no están alrededor del punto de equilibrio, se puede permitir que aumente la rigidez del sistema.

La reducción de la rigidez alrededor del punto de equilibrio conduce a una fuerza de restauración global muy reducida que está presente. La reducción de la rigidez conduce a un mayor ancho de banda de la boya oscilante, lo que conduce a mayores amplitudes de oscilación de la boya para un mayor rango de frecuencias de olas incidentes. Esto aumenta la eficiencia del convertidor de energía de ola, ya que permite que se convierta más energía de ola en un rango más amplio de frecuencia de ola.

La rigidez hidrostática S es el coeficiente (o constante) de proporcionalidad entre la fuerza de restauración experimentada por la boya y el desplazamiento de la boya desde su punto de equilibrio. Es un concepto relevante solo para la oscilación de un sistema semisumergido con un movimiento de agitación considerable y cualquier sistema que gire alrededor de un eje cercano al nivel medio de la superficie del océano. La rigidez hidrostática es un análogo de la constante de resorte k en un oscilador mecánico de masa/resorte estándar. Para un oscilador de movimiento lineal, la rigidez hidrostática S está aproximadamente relacionada con la fuerza de restauración por la relación $S = F/z$, donde F es la fuerza restauradora y z es el desplazamiento desde el equilibrio. Para un oscilador rotativo, la rigidez hidrostática está relacionada aproximadamente con la fuerza de restauración por la relación $S = \tau/\theta$, donde τ es el par de restauración y θ es el desplazamiento angular del equilibrio. Por lo tanto, la reducción de la rigidez hidrostática puede ser considerada de manera similar a la reducción de la fuerza o par de restauración (de ahora en adelante denominado "fuerza de restauración") experimentada por la boya. A medida que la boya se desplaza de su posición de equilibrio, la fuerza total del dispositivo de resorte negativo puede disminuir. En un cierto desplazamiento, la fuerza total del dispositivo de resorte negativo (y, por lo tanto, el componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento de la boya) puede ser cero. Este desplazamiento se denomina aquí desplazamiento umbral. En desplazamientos

mayores que el desplazamiento umbral, el dispositivo de resorte negativo puede proporcionar una fuerza en una dirección opuesta a la dirección de desplazamiento de la boya desde su posición de equilibrio. En tal caso, el dispositivo de resorte negativo actúa como un resorte positivo después de un cierto desplazamiento.

Estas capacidades de resorte positivo pueden ayudar a evitar o reducir la dependencia del uso de topes finales. Por lo general, se requieren topes finales para limitar el desplazamiento máximo de la boya lejos de su punto de equilibrio. La conversión de un resorte negativo a uno positivo puede actuar como un tope final, lo que significa que no se requieren componentes de tope final adicionales. Alternativamente, el efecto de resorte positivo puede significar que se puede usar un tope final más débil. Por lo tanto, la capacidad de resorte positivo puede reducir el número de componentes presentes en el sistema y reducir el desgaste en el sistema, ya que ya no se requiere que la boya golpee un tope final para limitar su desplazamiento, o golpee el tope final con menos fuerza.

La fuerza total proporcionada por el dispositivo de resorte puede aumentar inicialmente a medida que aumenta el desplazamiento, luego puede disminuir antes de volverse positiva en el desplazamiento umbral. El componente de la fuerza del dispositivo de resorte en la dirección opuesta a la dirección de desplazamiento de la boya puede incrementarse aún más debido a la geometría del sistema, y dado que, más allá del desplazamiento umbral, la fuerza total producida por el dispositivo de resorte negativo puede aumentar a medida que se extiende.

A medida que la boya se mueve más allá del desplazamiento umbral, y el dispositivo de resorte negativo comienza a actuar con una fuerza total positiva, el convertidor de energía de ola puede almacenar energía. Esta energía puede considerarse energía potencial almacenada en el convertidor de energía de las olas, que surge de la conversión de la energía cinética de la boya y/o la energía potencial hidrostática de la boya. La energía puede almacenarse en el dispositivo de resorte negativo. La energía almacenada puede ser utilizada más tarde. La energía puede almacenarse en uno o más fluidos, por ejemplo, gas o líquido, acumuladores. El fluido presurizado puede almacenarse en el acumulador, el fluido ha sido presurizado utilizando la energía cinética y/o hidrostática de la boya. El acumulador puede ser adicional al dispositivo de resorte negativo, y puede estar conectado al dispositivo de resorte negativo. Sin embargo, en el caso de que el dispositivo de resorte negativo comprenda un resorte hidráulico/neumático/de gas (ver más abajo), el acumulador puede formar parte del dispositivo de resorte negativo, es decir, el acumulador puede contribuir directamente a las características del resorte del dispositivo de resorte negativo. En este caso, también se puede proporcionar un acumulador adicional para aumentar la capacidad de almacenamiento de energía.

El dispositivo de resorte negativo puede estar conectado entre la boya y el punto de referencia mediante cualquier acoplamiento adecuado. Este acoplamiento puede permitir la rotación articulada del dispositivo de resorte negativo con respecto a la boya y el punto de referencia durante el movimiento oscilante de la boya. El acoplamiento puede ser de cualquiera de las formas conocidas en la técnica adecuadas para tal fin. Durante el funcionamiento del convertidor de energía de ola, el dispositivo de resorte negativo tiene una rotación máxima alrededor del punto de referencia de entre -90° y $+90^\circ$, en relación con la posición del dispositivo de resorte en equilibrio. Preferiblemente, este intervalo está entre -70° y $+70^\circ$, -50° y $+50^\circ$ o -30° y $+30^\circ$.

El dispositivo de resorte negativo comprende un resorte mecánico. El dispositivo de resorte negativo puede comprender una pluralidad de resortes mecánicos. El resorte mecánico puede ser un resorte helicoidal, un resorte neumático/de gas o un resorte hidráulico. Un resorte de gas/neumático o hidráulico puede ser particularmente efectivo para producir efectos de resorte negativos. El resorte mecánico puede comprender preferiblemente un cilindro/pistón hidráulico y un acumulador de gas. En este caso, el dispositivo de resorte negativo puede manejar rangos de presión más grandes.

Un resorte de gas/neumático o hidráulico puede comprender un cilindro de fluido.

El dispositivo de resorte negativo puede comprender válvulas controladas o pasivas. Las válvulas pueden usarse para ajustar y/o regular la presión en resortes hidráulicos/neumáticos/de gas. Por lo tanto, puede ser posible alterar, adaptar y/u optimizar el funcionamiento del dispositivo de resorte negativo. Por ejemplo, puede ser posible alterar, adaptar y/u optimizar la fuerza/par negativo del resorte proporcionado por el dispositivo de resorte negativo; el desplazamiento opcional del umbral; y/o la fuerza/par de resorte positivo opcional proporcionado por el dispositivo de resorte negativo.

Las válvulas pueden ser válvulas solenoides, válvulas hidráulicas, válvulas accionadas por gas o válvulas neumáticas. Las válvulas pueden ser controladas por un controlador. Se pueden tomar mediciones, o estimaciones producidas, del estado del convertidor de energía de las olas y/o el estado del agua que rodea el convertidor de energía de las olas. Las mediciones/estimaciones pueden ser del estado instantáneo del convertidor de energía de las olas y/o el agua circundante. Por ejemplo, las mediciones/estimaciones podrían ser uno o más del movimiento de la boya, variables dinámicas de despegue de potencia y/o variables dinámicas de ola. El controlador puede utilizar las mediciones/estimaciones para controlar las válvulas.

En una realización, el punto de referencia puede proporcionarse en un miembro de soporte fijo con relación al lecho marino o la estructura, la boya está configurada para oscilar en relación con el miembro de soporte, el dispositivo de resorte está acoplado entre un interior de la boya y el miembro de soporte.

El miembro de soporte puede ser un miembro de soporte rígido (por ejemplo, una varilla o poste). El miembro de soporte puede estar unido al lecho marino o la estructura.

El miembro de soporte puede ser un miembro de soporte flexible (por ejemplo, un cable o tubo flexible). El miembro de soporte puede mantenerse bajo tensión, por ejemplo, entre el lecho marino y la estructura.

La boya puede configurarse para experimentar oscilación de movimiento traslacional/lineal. Cuando la boya se desplaza de su posición de equilibrio, la fuerza del dispositivo de resorte negativo puede tener un componente en la dirección del desplazamiento lineal. El punto de referencia puede estar en una posición de equilibrio de la boya oscilante.

Alternativa o adicionalmente, la boya puede configurarse para experimentar oscilación rotacional. La boya puede oscilar con un desplazamiento angular alrededor de un punto de pivote. El punto de pivote puede ser externo a la boya. La boya se puede conectar al punto de pivote a través de un miembro de conexión. El miembro de conexión puede ser rígido y puede conectarse al centro de la boya. El dispositivo de resorte negativo puede estar acoplado entre el centro de la boya y el punto de referencia. Cuanto más cerca esté el punto de referencia de la posición de equilibrio de la boya, mayor será la fuerza tangencial proporcionada por el resorte. Alternativamente, se puede usar un dispositivo de resorte de torsión como dispositivo de resorte negativo. Cuando la boya se desplaza de su posición de equilibrio, la fuerza del dispositivo de resorte negativo tiene un componente en la dirección tangencial de la boya oscilante.

El punto de referencia puede estar en, o cerca de, cualquier posición a lo largo de la línea que conecta la posición de equilibrio y el punto de pivote, y preferiblemente en una posición entre la posición de equilibrio y el punto de pivote, más preferiblemente en una posición entre el centro de la boya cuando está en su posición de equilibrio y el punto de pivote. El punto de referencia puede estar en una posición fija con relación al punto de pivote.

El convertidor de energía de ola puede comprender múltiples dispositivos de resorte negativo. Por ejemplo, cuando la boya está configurada para experimentar un movimiento lineal, entonces puede haber dispositivos de resorte que se extiendan a lo largo de las direcciones radiales desde un eje definido por la dirección del movimiento de traslación y que estén separadas alrededor del eje. Cuando la boya está configurada para experimentar un movimiento de oscilación rotacional, puede haber múltiples dispositivos de resorte que, en el punto de equilibrio, se extienden a lo largo de un plano que es normal a una tangente al arco de movimiento de la boya. Por lo tanto, en cada caso, los múltiples dispositivos de resorte negativos pueden estar dispuestos para extenderse en diferentes direcciones a lo largo de un plano perpendicular a la dirección del movimiento en la posición de equilibrio. Preferiblemente, los múltiples dispositivos de resorte están dispuestos simétricamente. Preferiblemente, todos los dispositivos de resorte están conectados entre la boya y el mismo punto de referencia.

Cuando se usan múltiples resortes de gas, neumáticos o hidráulicos, al menos dos de los múltiples dispositivos de resorte pueden estar conectados de manera fluida entre sí, de modo que la presión del fluido en los respectivos dispositivos de resorte negativos permanezca igual. Tal conexión de fluido puede prevenir cargas desiguales entre la boya y el punto de referencia. La conexión de fluido puede ser permanente. La conexión de fluido puede conectar selectivamente los al menos dos dispositivos de resorte múltiple, por ejemplo, a modo de válvula. La conexión de fluido puede comprender un medio para conectar selectivamente los al menos dos dispositivos de resorte múltiple, por ejemplo, una válvula. La conexión de fluido puede comprender una conexión de tubería o manguera, y puede comprender además una válvula. La conexión de fluido puede estar entre los cilindros de los resortes.

Para un sistema lineal, los dispositivos de resorte negativo pueden estar dispuestos en una formación de estrella alrededor del eje a lo largo de la dirección de movimiento, por ejemplo, una estrella de dos, tres o cinco puntas. Cuando hay una disposición simétrica de este tipo, ventajosamente puede no haber fuerza neta entre la boya y el miembro de soporte debido a los dispositivos de resorte negativos en direcciones perpendiculares a la dirección del miembro de soporte. Esto se puede lograr utilizando resortes negativos simétricamente espaciados con características idénticas. En este caso, todas las fuerzas de los resortes serán a lo largo de la dirección del movimiento, que puede ser la dirección del miembro de soporte. Por ejemplo, pueden estar presentes tres dispositivos de resorte separados por 120 °, todos proporcionando fuerzas sustancialmente iguales entre la boya y el miembro de soporte.

El miembro de soporte puede pasar a través del centro de la boya. El miembro de soporte puede estar orientado en una dirección de oscilación debido a la flotabilidad de la boya, que puede ser la dirección del movimiento de traslación mencionado anteriormente. Esta dirección puede ser sustancialmente vertical.

Cada dispositivo de resorte negativo puede comprender solo un resorte. Esta es la disposición más simple y, por ejemplo, podría ser proporcionada por un solo resorte que esté en compresión y perpendicular a la dirección del movimiento de traslación, o a una tangente al arco de movimiento de rotación, en la posición de equilibrio.

Alternativamente, el uno o más, o cada dispositivo de resorte negativo puede comprender un conjunto de resortes, por ejemplo, un par de resortes angulados en forma de V que, en la posición de equilibrio, están dispuestos simétricamente alrededor de una perpendicular a la dirección de movimiento en la posición de equilibrio, siendo esta dirección, por

ejemplo, una dirección de movimiento traslacional o una tangente a un arco de movimiento rotacional. Los resortes de cada dispositivo de resorte negativo pueden estar en el mismo plano que la perpendicular y la dirección del movimiento. En este caso, el conjunto de resortes puede extenderse desde una conexión al punto de referencia (en la punta de la V) a puntos respectivos en una superficie interior de la boya (en los dos extremos de la V). Los puntos respectivos pueden estar separados en una dirección sustancialmente alineada con la dirección del movimiento. Durante el movimiento fuera de la posición de equilibrio, el resorte (o conjunto de resortes) proporcionará una fuerza con un componente a lo largo de la dirección del movimiento, lo que dará como resultado la adición de rigidez negativa. Se entenderá que el ángulo del dispositivo de resorte alejado de la perpendicular aumentará durante el movimiento, lo que significa que el componente de la fuerza a lo largo de la dirección del movimiento aumentará ya que la fuerza se alinea más con la dirección del movimiento.

Cuando se usan resortes de gas, neumáticos o hidráulicos, al menos dos resortes del conjunto de resortes se pueden conectar de manera fluida entre sí de manera que la presión del fluido en los resortes respectivos del conjunto de resortes permanezca igual. Tal conexión de fluido puede reducir la fricción en el sistema. La conexión de fluido puede ser permanente. La conexión de fluido puede conectar selectivamente los al menos dos resortes, por ejemplo, a modo de válvula. La conexión de fluido puede comprender un medio para conectar selectivamente los al menos dos resortes, por ejemplo, una válvula. La conexión de fluido puede comprender una conexión de tubería o manguera, y puede comprender además una válvula. La conexión de fluido puede estar entre los cilindros de los resortes.

Ejemplos de los resortes utilizados pueden ser los fabricados por The Sheffer Corporation de Cincinnati, Ohio, EE. UU., Parker Hydraulics de Norwich, Inglaterra, y Bosch Rexroth de Charlotte, Carolina del Norte, EE. UU. Para resortes neumáticos, la presión máxima a la que están diseñados para soportar puede ser de hasta aproximadamente 100 bares, preferiblemente de hasta 150 bares, y el orificio cilíndrico puede estar entre 10 cm y 100 cm. La presión máxima que puede soportar el resorte neumático puede ser de hasta aproximadamente 10 bares, preferiblemente hasta 15 bares, y aún más preferiblemente hasta 20 bares, y el orificio cilíndrico puede estar entre 30 cm y 100 cm. Para resortes hidráulicos, la presión máxima que están diseñados para soportar puede ser de hasta 200 bar, y el diámetro interior cilíndrico puede ser de aproximadamente 50 cm.

En la presente invención, la boya puede tener cualquier forma conocida. Por ejemplo, puede ser generalmente de forma cilíndrica o esférica.

El convertidor de energía de las olas puede usarse como bomba o como generador de energía eléctrica. Cuando actúa como una bomba, la boya oscilante puede accionar un sistema hidráulico o un sistema neumático para aprovechar la energía. El sistema hidráulico o neumático puede conectarse posteriormente a un generador eléctrico. Alternativamente, la boya oscilante puede generar electricidad directamente a través de una disposición electromecánica que incorpora los imanes y circuitos necesarios como se conoce en la técnica. Tal disposición electromecánica puede ser parte de la boya o la boya puede estar acoplada mecánicamente a un dispositivo externo.

En otro aspecto, la invención proporciona un método para extraer energía de las olas oceánicas que comprende: permitir que una boya oscile, debido al movimiento de las olas, alrededor de una posición de equilibrio con respecto a un punto de referencia; y usar un dispositivo de resorte negativo que comprende un resorte mecánico, para proporcionar una fuerza positiva entre la boya y el punto de referencia cuando la boya se aleja de la posición de equilibrio, en la que la posición de equilibrio es la posición en la que el dispositivo de resorte no proporciona fuerza en un dirección del movimiento oscilatorio de la boya, siendo la fuerza positiva en la dirección de desplazamiento entre la boya y la posición de equilibrio.

El método puede incluir proporcionar una fuerza positiva entre la boya y el punto de referencia en la dirección opuesta a la dirección de desplazamiento entre la boya y su posición de equilibrio, si el desplazamiento es mayor que un umbral.

Las fuerzas entre la boya y el punto de referencia pueden ser proporcionadas por un dispositivo de resorte negativo como se describió anteriormente. El método puede incluir el uso de un aparato con cualquiera o todas las características descritas anteriormente. La oscilación puede ser oscilación de movimiento lineal, u oscilación rotacional, o una combinación de las dos.

El dispositivo de resorte negativo usado en el método puede ser el dispositivo de resorte negativo como se describió anteriormente en relación con el primer aspecto de la invención.

Ahora se describirán ciertas realizaciones preferidas solo a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

Las Figuras 1, 4 y 7 muestran diferentes realizaciones de un convertidor de energía de ola de acuerdo con la presente invención;

Las figuras 2, 3, 5, 6, 8 y 9 son gráficos que muestran diversas fuerzas/pares en función del desplazamiento de los convertidores de energía de las olas de las figuras 1, 4 y 7.

Un convertidor de energía de las olas es un sistema dinámico que absorbe energía de las olas del océano al irradiar una ola que crea interferencia destructiva con las olas incidentes. El sistema puede caracterizarse por su respuesta dinámica, que tiene un cierto ancho de banda. Esto significa que tiene un rango de frecuencias sobre el cual responde bien a la excitación de las olas incidentes. Fuera de este rango, la respuesta es más débil, en el sentido de que no puede absorber significativamente la energía de la ola incidente. Típicamente, el ancho de banda de respuesta es más estrecho que el ancho de banda de las olas oceánicas naturales. Esto es especialmente cierto para sistemas pequeños, los llamados absorbedores puntuales, como las boyas.

Junto con garantizar la fiabilidad y durabilidad, lograr un ancho de banda suficiente para la absorción de potencia es un desafío primordial para el desarrollo de convertidores de energía de las olas.

El ancho de banda también puede considerarse en términos de la respuesta de velocidad de un sistema a una fuerza de excitación. La relación entre la fuerza de excitación y la velocidad de respuesta es crucial para la absorción de la energía de las olas. Con una diferencia de fase cero entre respuesta y excitación, la potencia de excitación es máxima. Para una absorción máxima, la amplitud de la velocidad debe estar en una relación óptima con la amplitud de la ola incidente. Las realizaciones preferidas buscan hacer que la diferencia de fase sea cero o cercana a cero.

La figura 1 muestra una realización ejemplar del convertidor 1 de energía de ola de la presente invención. El convertidor 1 de energía de ola incluye una boya 2 que puede oscilar con respecto a un punto 3 de referencia alrededor de una posición 4 de equilibrio. El convertidor de energía de ola incluye además un dispositivo 10 de resorte negativo conectado entre la boya 2 y el punto 3 de referencia. El dispositivo 10 de resorte negativo aplica una fuerza positiva en la dirección del desplazamiento (z) cuando la boya se aleja de la posición 4 de equilibrio. En la realización de la Figura 1, la dirección del desplazamiento (z) es la dirección vertical.

En la realización de la Figura 1, la boya 2 es esférica y comprende un caparazón 6 sellada llena de aire que generalmente tiene la forma de un caparazón esférico. El caparazón 6 proporciona a la boya 2 flotabilidad. La superficie 7 interior del caparazón 6 define una cavidad 8 interior hueca. La cavidad 8 también puede proporcionar a la boya 2 flotabilidad. La boya 2 puede tener un radio de alrededor de 4 m, aunque son posibles otros radios.

Un miembro 5 de soporte (por ejemplo, una varilla, un poste, un cable) pasa a través de agujeros 9 opuestos en el caparazón 6 y a través del centro de la boya 2, y está orientado generalmente en la dirección del desplazamiento (z) de la boya 2. El punto 3 de referencia se fija al miembro 5 de soporte y se coloca en el centro de la boya 2.

El dispositivo 10 de resorte negativo comprende un resorte 11 helicoidal mecánico y está fijado entre el punto 3 de referencia y la superficie 7 interior del caparazón 6 de modo que, cuando la boya 2 está en su posición 4 de equilibrio, el dispositivo 10 de resorte negativo es perpendicular al miembro 5 de soporte y la dirección de desplazamiento (z). El dispositivo 10 de resorte negativo está en un estado de compresión máxima cuando la boya 2 está en su posición de equilibrio. Las conexiones 12 y 13 permiten la rotación con bisagras del dispositivo 10 de resorte negativo en relación con la superficie 7 interior y el punto 3 de referencia.

Aunque no se muestra en la Figura 1, el convertidor 1 de energía de ola comprende múltiples dispositivos 10 de resorte negativos, los dispositivos 10 de resorte se extienden entre el punto 3 de referencia y la superficie 7 interior como se describió anteriormente, y tienen propiedades mecánicas sustancialmente idénticas. Los múltiples dispositivos 10 de resorte negativo están simétricamente separados alrededor del eje del miembro 5 de soporte. Por lo tanto, los dispositivos 10 de resorte negativo están dispuestos en una formación de estrella alrededor del eje del miembro 5 de soporte, por ejemplo, una estrella de dos, tres o cinco puntas. Por ejemplo, pueden estar presentes tres dispositivos 10 de resorte negativo separados por 120° , todos proporcionando fuerzas sustancialmente iguales entre la boya 2 y el miembro 5 de soporte.

Está claro que la boya 2 de la realización de la Figura 1 puede sufrir oscilación de movimiento traslacional/lineal debido a la energía de la ola incidente. Cuando la boya 2 se desplaza de su posición 4 de equilibrio, la fuerza del dispositivo 10 de resorte negativo tiene un componente en la dirección del desplazamiento lineal (z). Así, cuando la boya 2 se aleja de su posición de equilibrio, el dispositivo 10 de resorte negativo libera su energía almacenada.

La magnitud de la fuerza proporcionada por el dispositivo 10 de resorte negativo en la dirección de desplazamiento (z) de la boya 2 cambia a medida que la boya 2 se aleja de su posición 4 de equilibrio. Este cambio en la fuerza se debe en parte a la geometría del sistema, ya que el componente en la dirección z de la fuerza total aplicada por el dispositivo 10 de resorte negativo aumenta en relación con el componente perpendicular a la dirección z a medida que el desplazamiento de la boya 2 se aleja de la posición 4 de equilibrio. Además, la fuerza cambia ya que la fuerza total producida por el dispositivo 10 de resorte negativo cambia a medida que cambia la longitud del dispositivo 10 de resorte negativo. Por lo tanto, este cambio de fuerza comienza a actuar cuando la boya se desplaza de su posición de equilibrio. La fuerza producida por el dispositivo de resorte negativo actúa para empujar la boya a lo largo de la dirección de desplazamiento (z) de oscilación. En una disposición de ejemplo, el dispositivo 10 de resorte negativo puede proporcionar una fuerza que inicialmente aumenta con el desplazamiento cuando la boya 2 se aleja de la posición 4 de equilibrio.

El dispositivo 10 de resorte negativo proporciona una rigidez negativa que actúa contra la rigidez hidrostática de la boya 2 y, por lo tanto, reduce la rigidez hidrostática del sistema. Sin embargo, para los desplazamientos (z) que no están dentro de un desplazamiento umbral alrededor del punto de equilibrio, se permite que aumente la rigidez del sistema. Esto se puede ver en el ejemplo que se muestra en la Figura 2 en el que la línea discontinua es la fuerza de rigidez hidrostática ($F(z)$) de la boya 2 y la línea continua es la fuerza debida al dispositivo 10 de resorte negativo ($F(z)$), como una función del desplazamiento (z) del equilibrio 4.

La fuerza de rigidez resultante del sistema se muestra mediante la línea continua en la Figura 3 (de nuevo, la línea discontinua es la fuerza de rigidez hidrostática de la boya 2). Como se puede ver, hay una reducción en la rigidez alrededor del punto de equilibrio. Cabe señalar que los valores precisos que se muestran en los ejes de las Figuras 2 y 3, y las Figuras 5, 6, 8 y 9, son solo a modo de ejemplo ilustrativo. Se pueden encontrar desplazamientos y fuerzas mayores o menores. Estos valores dependen de numerosos factores, incluida la energía de las olas incidentes y el tamaño de la boya.

A medida que la boya 2 se desplaza de su posición 4 de equilibrio, la fuerza total del dispositivo de resorte negativo disminuye. En un desplazamiento umbral (marcado como z_t en la Figura 2), la fuerza total (y, por lo tanto, el componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento de la boya) es cero. Como se puede ver en la Figura 2, en desplazamientos mayores que el desplazamiento de umbral (z_t), el dispositivo 10 de resorte negativo proporciona una fuerza en una dirección opuesta a la dirección de desplazamiento (z) de la boya 2 desde su posición 4 de equilibrio. Por lo tanto, el dispositivo 10 de resorte negativo actúa como un dispositivo de resorte positivo después de un cierto desplazamiento (z_t), y aumenta la rigidez total del sistema.

Con referencia a la Figura 2, la fuerza total proporcionada por el dispositivo 10 de resorte negativo inicialmente aumenta a medida que aumenta el desplazamiento (z), luego disminuye antes de convertirse en un resorte positivo (y, por lo tanto, aplica una fuerza que se opone a la dirección del desplazamiento) en el desplazamiento umbral (z_t). El componente de la fuerza del dispositivo de resorte en la dirección opuesta a la dirección de desplazamiento de la boya puede incrementarse aún más debido a la geometría del sistema (por razones similares a las discutidas anteriormente) y desde entonces, más allá del desplazamiento del umbral (z_t), la fuerza total producida por el dispositivo de resorte puede aumentar a medida que se extiende. El efecto de resorte positivo en grandes desplazamientos puede usarse como parte de un sistema de "tope final" para limitar el desplazamiento máximo de la boya.

Con referencia a la Figura 4, esto muestra un convertidor de energía de ola muy similar al que se muestra en la Figura 1. Sin embargo, en esta realización, cada dispositivo 10 de resorte negativo puede comprender un conjunto de resortes 14 que comprende un par de resortes angulados en forma de V que están dispuestos simétricamente alrededor de un plano perpendicular a la dirección del movimiento de traslación (z). El conjunto de resortes 14 puede extenderse desde una conexión 13 al punto fijo 3 a puntos 12 respectivos en la superficie 7 interior de la boya 2. Los puntos 12 respectivos están separados en una dirección sustancialmente alineada con la dirección del miembro 5 de soporte. En esta realización de ejemplo, se muestran resortes de gas.

Como se puede ver en la Figura 5, el uso del conjunto de resortes 14 permite adaptar las características de fuerza del dispositivo 10 de resorte negativo. En la Figura 5, la fuerza sobre la boya en la dirección z de cada resorte en el conjunto se muestra por F_1 y F_2 (las líneas continuas). La fuerza resultante se muestra por F_{tot} (la línea discontinua). El ángulo entre los resortes en cada conjunto y la fuerza total (suma F) producida por cada resorte se elige de tal manera que la fuerza resultante del dispositivo de resorte negativo (neumático F_z) reduzca mejor la rigidez hidrostática de la boya (esfera F_z) alrededor del equilibrio. Esto se muestra en la Figura 6. El ángulo proporciona otro factor controlable que ayuda al ingeniero a producir la reducción de rigidez más efectiva.

La figura 7 muestra un ejemplo de realización de la presente invención en el que la boya 2 sufre oscilación rotacional. La boya 2 puede ser sustancialmente similar a la descrita en relación con las realizaciones anteriores. Sin embargo, la boya 2 de la realización de la Figura 8 comprende solo un orificio 9 para permitir que un miembro de conexión 15 conecte el centro de la boya 2 al punto de pivote (A) y una ranura (no mostrada) a través de la cual el dispositivo 10 de resorte negativo puede extenderse. La boya 2 oscila con un desplazamiento angular alrededor del punto de pivote (A), siendo el punto de pivote (A) externo a la boya 2. El dispositivo 10 de resorte negativo puede estar acoplado entre el centro de la boya y el punto 3 de referencia. Cuando la boya 2 se desplaza de su posición de equilibrio, la fuerza del dispositivo de resorte negativo tiene un componente en la dirección tangencial de la boya oscilante.

El punto 3 de referencia se encuentra a lo largo de la línea que se extiende desde el punto de pivote (A) en el ángulo de equilibrio de la boya. Además, se encuentra entre el centro de la boya 2 cuando está en su posición 4 de equilibrio y el punto de pivote (A).

El conjunto 10 de resorte negativo del convertidor 1 de energía de ola de la Figura 7 actúa de manera similar a los conjuntos 10 de resorte negativo de las Figuras 1 y 4 para reducir la rigidez hidrostática del sistema y, por lo tanto, aumentar el ancho de banda del convertidor de energía de ola. La reducción en la rigidez hidrostática se puede ver en las Figuras 8 y 9, que muestran efectos similares a las Figuras 2 y 3. Por lo tanto, en la Figura 8, la línea discontinua

es el par de rigidez hidrostática de la boya 2 ($\tau(\theta)$) y la línea continua es el par debido al dispositivo 10 de resorte negativo ($\tau(\theta)$), en función del desplazamiento angular (θ) desde el equilibrio 4. El par de rigidez resultante ($\tau(\theta)$) del sistema se muestra mediante la línea continua en la Figura 9 (de nuevo, la línea discontinua es el par de rigidez hidrostática de la boya 2). Como se puede ver, hay una reducción en la rigidez alrededor del punto de equilibrio.

5 Como se señaló anteriormente, el efecto del resorte negativo es mejorar en gran medida la energía que puede suministrar el sistema. Para una boya de tipo de oscilación lineal del tipo que se muestra en la Figura 4, se ha realizado una comparación experimental con un diseño de boya estándar y esto encontró que el aumento en la entrega de energía fue al menos del 100 %. El experimento utilizó una configuración de carga resistiva convencional para medir la entrega de energía. Una ventaja significativa proporcionada por los convertidores de energía de ola descritos en este documento es, por lo tanto, una salida de potencia promedio que al menos se duplica en comparación con los diseños conocidos.

REIVINDICACIONES

1. Un convertidor (1) de energía de las olas para extraer energía de las olas del océano que comprende: una boya (2) dispuesta para oscilar con respecto a un punto (3) de referencia alrededor de una posición (4) de equilibrio; y un dispositivo (10) de resorte conectado entre la boya (2) y el punto (3) de referencia, en el que la posición (4) de equilibrio es la posición en la que el dispositivo (10) de resorte no proporciona fuerza en una dirección de movimiento oscilatorio de la boya caracterizado porque:
5 el dispositivo de resorte es un dispositivo de resorte negativo que comprende un resorte (11; 14) mecánico, en el que el dispositivo (10) de resorte negativo es para aplicar una fuerza positiva en la dirección del desplazamiento cuando la boya (2) se aleja de la (4) posición de equilibrio
2. Un convertidor de energía de ola de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el dispositivo (10) de resorte negativo está configurado para proporcionar una fuerza que inicialmente aumenta con el desplazamiento cuando la boya (2) se aleja de la posición de equilibrio.
15
3. Un convertidor de energía de ola de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que en desplazamientos mayores que un desplazamiento umbral, el dispositivo (10) de resorte negativo está configurado para proporcionar una fuerza que tiene un componente en una dirección opuesta a la dirección de desplazamiento de la boya (2) desde su posición (4) de equilibrio,
20
4. Un convertidor de energía de ola de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el dispositivo (10) de resorte negativo está configurado de tal manera que el componente de la fuerza en la dirección opuesta a la dirección de desplazamiento de la boya (2) aumenta a medida que aumenta el desplazamiento de la boya más allá del desplazamiento umbral.
25
5. Un convertidor de energía de ola de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, en el que el resorte (11; 14) mecánico es un resorte helicoidal o un resorte de gas.
6. Un convertidor de energía de ola de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende múltiples dispositivos (10) de resorte negativo, preferiblemente en el que los dispositivos de resorte negativo múltiple se extienden en diferentes direcciones a lo largo de un plano perpendicular a la dirección de movimiento en la posición (4) de equilibrio, preferiblemente en el que los múltiples dispositivos de resorte negativos están dispuestos simétricamente.
30
7. Un convertidor de energía de ola de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada/el dispositivo (10) de resorte negativo comprende un conjunto de resortes (14), preferiblemente en el que el conjunto de resortes comprende un par de resortes angulados en forma de V que, en la posición (4) de equilibrio, están dispuestos simétricamente alrededor de una perpendicular a la dirección del movimiento y se encuentran en el mismo plano que la dirección del movimiento y la perpendicular a la misma.
35
8. Un convertidor de energía de ola de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el punto de referencia se proporciona en un miembro (5) de soporte, la boya (2) está configurada para oscilar con respecto al miembro de soporte, preferiblemente en el que el dispositivo (10) de resorte negativo está acoplado entre el centro de la boya y el punto de referencia.
40
9. Un convertidor de energía de ola de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la boya (2) está configurada para experimentar oscilación de movimiento traslacional/lineal,
10. Un convertidor de energía de ola de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el miembro de soporte pasa a través del centro de la boya (2), preferiblemente en el que el miembro de soporte está orientado en la dirección de oscilación lineal de la boya.
45
11. Un convertidor de energía de ola de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la boya (2) está configurada para experimentar oscilación rotacional con un desplazamiento angular alrededor de un punto de pivote (A) externo a la boya,
50
12. Un convertidor de energía de ola de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el punto de referencia está en, o cerca de, cualquier posición a lo largo de la línea que conecta la posición (4) de equilibrio y el punto de pivote (A).
55
13. Un método para extraer energía de las olas oceánicas que comprende: permitir que una boya (2) oscile, debido al movimiento de las olas, alrededor de una posición (4) de equilibrio con respecto a un punto (3) de referencia; y caracterizado por: usar un dispositivo (10) de resorte negativo, que comprende un resorte (11; 14) mecánico, para proporcionar una fuerza positiva entre la boya y el punto de referencia cuando la boya se aleja de la posición de equilibrio, en el que la posición (4) de equilibrio es la posición en la que el dispositivo (10) de resorte no proporciona
60
- 65

fuerza en una dirección de movimiento oscilatorio de la boya, siendo la fuerza positiva en la dirección de desplazamiento entre la boya y la posición de equilibrio.

5 14. Un método de acuerdo con la reivindicación 13, que comprende, cuando el desplazamiento es mayor que un desplazamiento umbral, proporcionar una fuerza positiva entre la boya (2) y el punto de referencia en la dirección opuesta a la dirección de desplazamiento entre la boya y su posición (4) de equilibrio.

10 15. Un método de acuerdo con la reivindicación 13 o 14, en el que la fuerza entre la boya (2) y el punto de referencia es proporcionada por un dispositivo (10) de resorte negativo de un convertidor (1) de energía de ola de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.

Figura 1

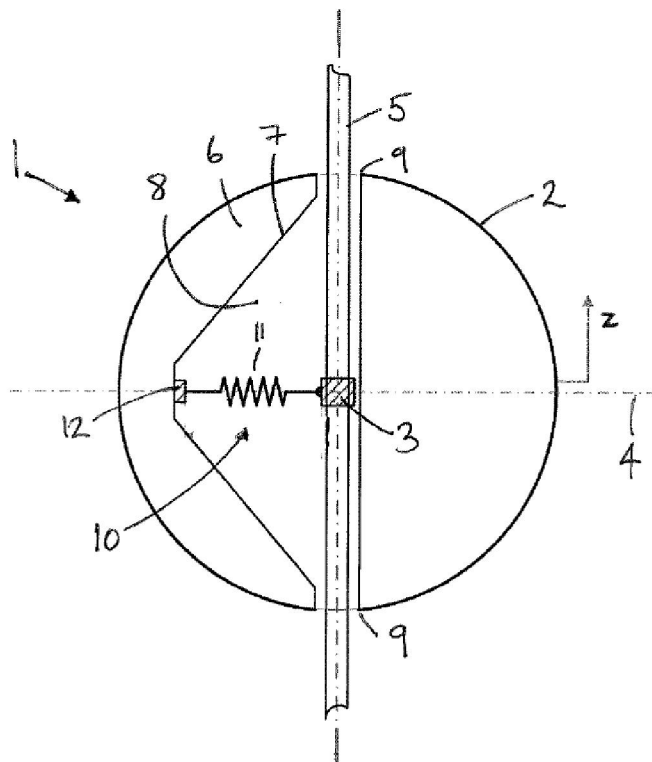


Figura 2

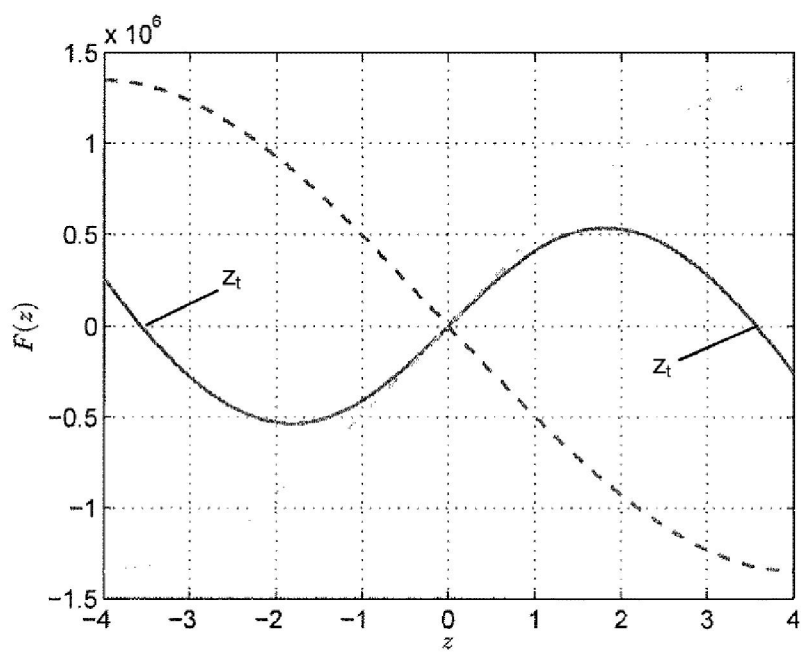


Figura 3

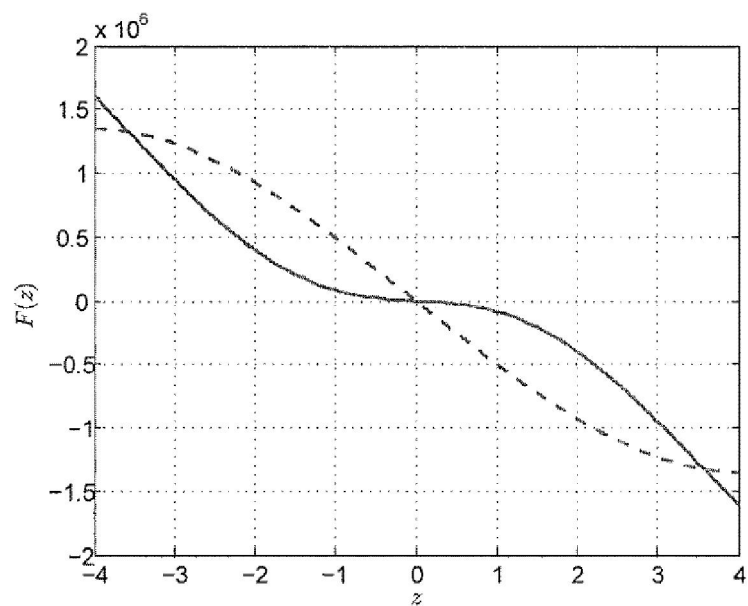


Figura 4

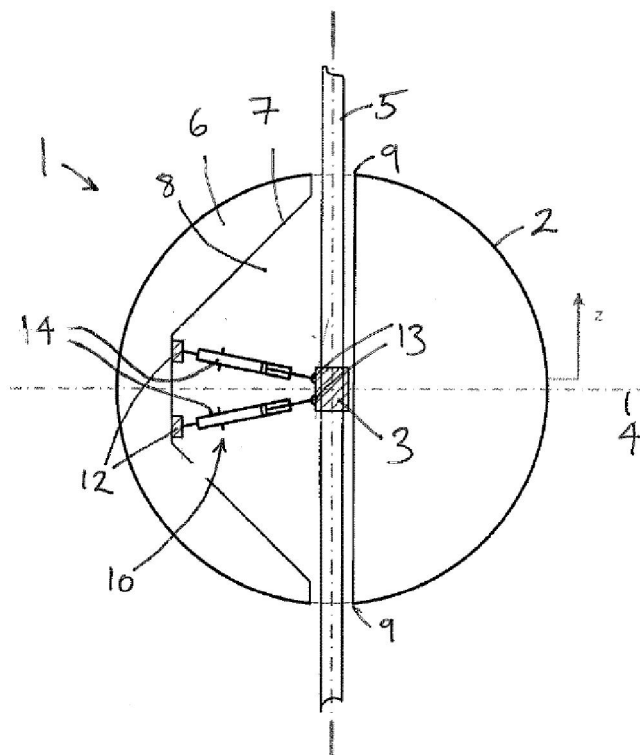


Figura 5

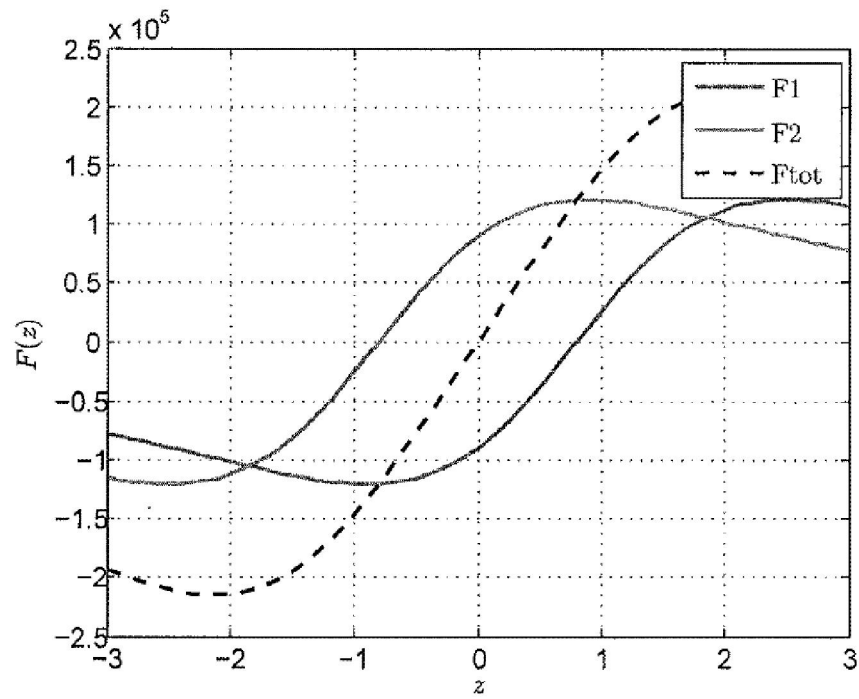


Figura 6

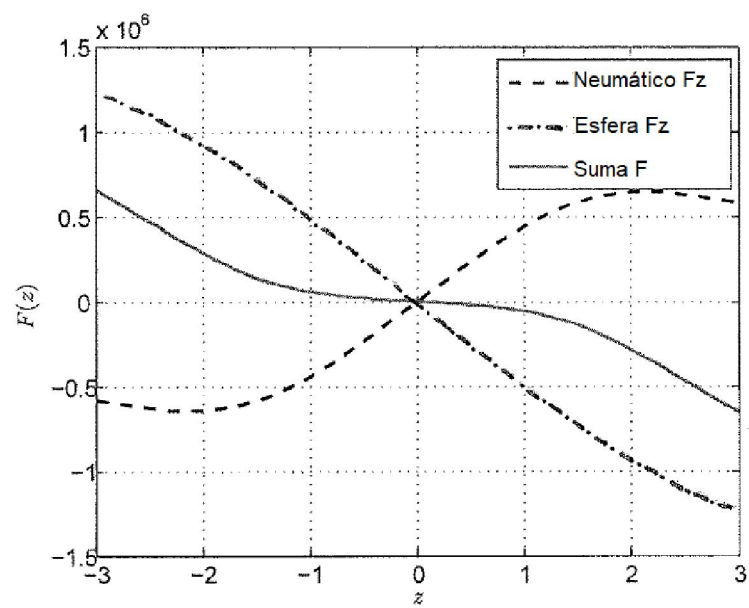


Figura 7

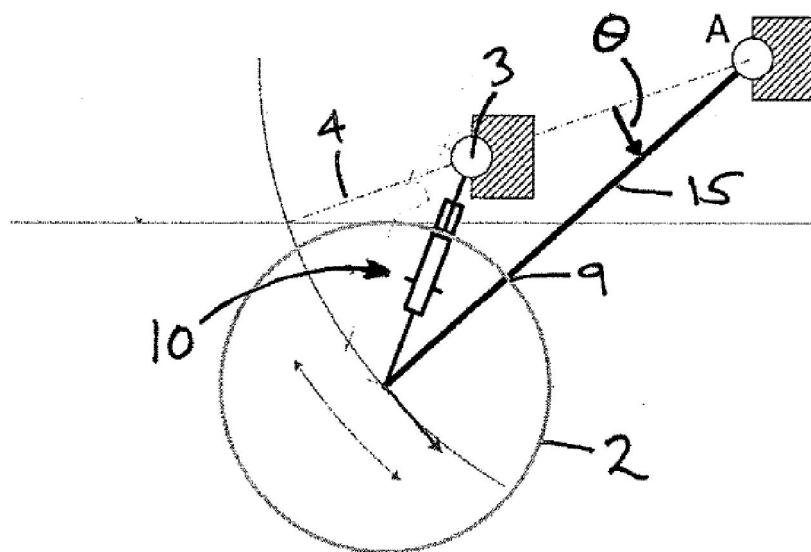


Figura 8

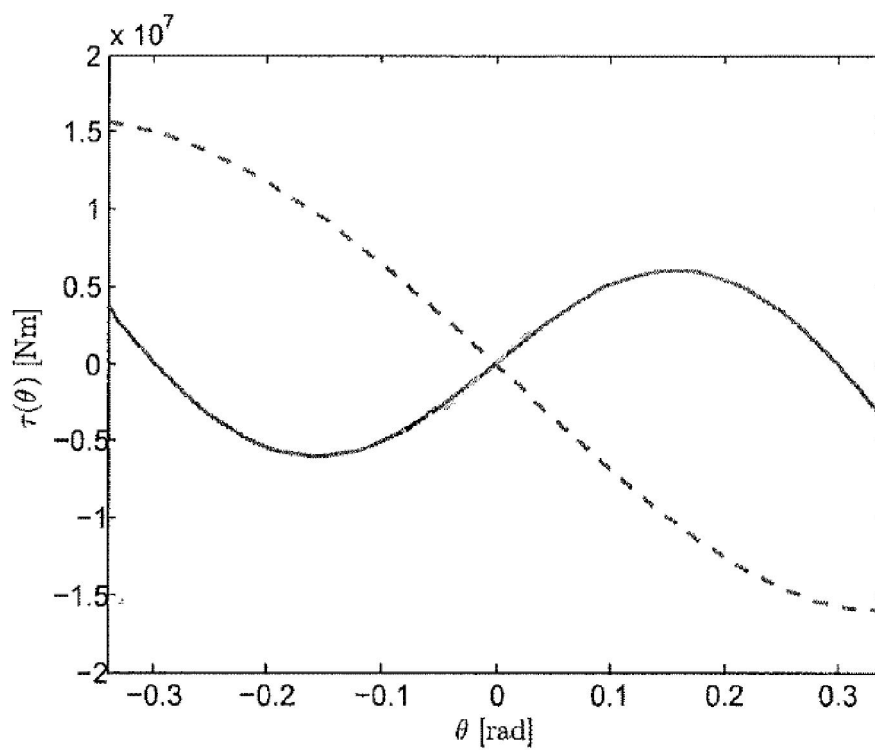


Figura 9

