



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 273 276**

51 Int. Cl.:  
**H02N 2/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04742602 .8**

86 Fecha de presentación : **28.04.2004**

87 Número de publicación de la solicitud: **1618648**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **25.01.2006**

54 Título: **Motor piezoeléctrico que permite al menos dos grados de libertad, en rotación y en desplazamiento lineal.**

30 Prioridad: **28.04.2003 FR 03 05145**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**01.05.2007**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**01.05.2007**

73 Titular/es: **Centre National De La Recherche  
Scientifique-CNRS  
3, rue Michel Ange  
75794 Paris Cédex 16, FR  
INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE  
TOULOUSE (I.N.P.T.)**

72 Inventor/es: **Budinger, Marc, René, Christian;  
Rouchon, Jean-François, Roland y  
Nogaredo, Bertrand**

74 Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

ES 2 273 276 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

Motor piezoeléctrico que permite al menos dos grados de libertad, en rotación y en desplazamiento lineal.

La presente invención se refiere a un motor con dos grados de libertad, uno en rotación y el otro en desplazamiento lineal según una dirección longitudinal, en particular, un motor que utiliza materiales electroactivos. Asimismo, se refiere a un procedimiento de funcionamiento de un motor de esta clase. La misma da a conocer asimismo un elemento móvil que comprende dicho motor.

Sistemas mecánicos complejos, en particular aplicaciones aeronáuticas embarcadas, necesitan, por ejemplo, el desplazamiento de cerrojos en traslación y en rotación. Estos desplazamientos son realizados actualmente por dos accionadores distintos, generalmente electromagnéticos, lo que ocupa un espacio excesivo.

En los documentos US nº 4.219.755 y FR 1 456 127, por ejemplo, se dan a conocer motores del tipo paso a paso que utilizan cilindros piezoeléctricos para generar movimientos lineales o rotativos. Además, el documento US nº 6.211.605 da a conocer el desplazamiento lineal y rotativo de un elemento móvil utilizando estos mismos cilindros.

El objetivo de la invención es dar a conocer un motor capaz de integrar los dos desplazamientos y que puede ser de un formato más compacto que los motores de la técnica anterior.

Este objetivo se alcanza con un motor que comprende un estator y un rotor, comprendiendo el estator cilindros para maniobrar y grapas que aseguran el mantenimiento del estator y su desplazamiento lineal a lo largo de una guía, siendo estos mismos cilindros empleados para la puesta en rotación del rotor.

Según un primer aspecto de la invención, ésta se refiere a un motor que comprende un equipo móvil constituido por al menos una grapa anterior y una grapa posterior y al menos un primer cilindro y un segundo cilindro de doble efecto longitudinal, siendo mantenida la primera grapa entre los extremos anteriores respectivos de dichos cilindros y estando la segunda grapa mantenida entre los extremos posteriores respectivos de dichos cilindros.

Preferentemente, en un motor según la invención, los extremos anterior y posterior del primer cilindro están respectivamente situados delante de los extremos anterior y posterior del segundo cilindro. Las grapas son deformables de forma reversible de modo que si una de las grapas se comprime entre los extremos de los cilindros que la mantienen, sufre una expansión transversal.

Además, este motor comprende unos medios para controlar los movimientos alternativos de alargamiento y acortamiento de cada uno de los cilindros, estando desfasados los movimientos respectivos del primer cilindro y del segundo cilindro.

Dicho motor está adaptado para ser montado sobre una guía y las grapas están previstas para bloquearse en esta guía. Por ejemplo, si la guía es de forma tubular, el bloqueo puede realizarse por encajado de la grapa en el interior de la guía, debido a su expansión transversal, es decir, que una dimensión transversal de la grapa tiene a ser superior a la de la guía tubular y la grapa se apoya sobre la guía y así se bloquea contra ésta.

Si la guía tiene la forma de una varilla o de un raíl alrededor del cual está situada la grapa, el bloqueo se puede realizar por pinzamiento de la grapa en la guía, es decir que debido a la expansión de la grapa, el espacio disponible para la guía que le atraviesa tiende a ser insuficiente para el paso de la guía. De este modo, el equipo se desplaza linealmente a lo largo de la guía, bloqueando de forma alternativa una de las grapas y haciendo avanzar la otra, tal como una oruga (el animal). La guía puede ser rectilínea o no.

Para garantizar un segundo grado de libertad al motor, este motor comprenderá un estator y un rotor, móviles en rotación uno respecto al otro y el equipo estará ventajosamente integrado en el estator, asegurando de este modo el desplazamiento longitudinal del estator y por lo tanto del rotor y de un elemento montado en el rotor para ser accionado por el motor. El accionamiento de este elemento puede realizarse entonces en rotación, en desplazamiento lineal o según una combinación de los dos.

Los cilindros pueden comprender un material electroactivo, es decir, adecuado para deformarse bajo la acción de un campo eléctrico, en particular piezoeléctrico. De este modo, el alargamiento del cilindro se puede determinar por el alargamiento del material bajo la acción del campo eléctrico. Variaciones de longitud de gran amplitud, es decir, de amplitud suficiente para permitir el bloqueo y el desbloqueo de las grapas, permiten, de este modo, el desplazamiento del equipo. Los al menos un cilindro pueden ser un par de primeros cilindros y un par de segundos cilindros que permiten, gracias a variaciones de longitud de pequeña amplitud, es decir, que no generan el bloqueo y el desbloqueo de las grapas, crear una onda progresiva en el estator y accionar un rotor en rotación. Se puede utilizar, para ello, el principio descrito en el documento EP 0538791 (Canon) que presenta un motor rotativo piezoeléctrico por efecto de la rotación de modo.

Los materiales electroactivos, en particular piezoeléctricos, permiten ventajosamente asegurar un enclavamiento fuera de alimentación, es decir que incluso sin alimentación eléctrica, los elementos constitutivos, tales como un rotor y un estator, de dicho motor permanecen en posiciones relativamente inmobilizadas. Se asegurará, para ello, que cuando los cilindros piezoeléctricos ya no estén alimentados, las grapas aseguren, no obstante, un bloqueo suficiente.

Según un segundo aspecto de la invención, se propone un procedimiento para desplazar linealmente dicho equipo a lo largo de una guía, que comprende, a partir de una posición inicial tal que la al menos una grapa anterior y la al menos una grapa posterior, están ambas bloqueadas en la guía, las etapas siguientes:

- alargamiento del al menos un primer cilindro, y luego
- alargamiento del al menos un segundo cilindro, y luego
- acortamiento del al menos un primer cilindro, y luego
- acortamiento del al menos un segundo cilindro.

La etapa inicial ha sido elegida arbitrariamente de entre todas las etapas del desplazamiento. De este modo, durante el alargamiento del primer cilindro, su extremo posterior se apoya sobre la grapa posterior y bloqueada a su vez sobre la guía, mientras que el extremo anterior avanza libremente.

El procedimiento así descrito permite hacer

“avanzar” el equipo a lo largo de la guía, es decir permitir su movimiento lineal de atrás hacia adelante.

Los términos “adelante”, “atrás”, “delante”, “detrás”, “anterior” y “posterior” están definidos en relación con una dirección longitudinal para el desplazamiento lineal del equipo y del motor provisto de este elemento móvil. Evidentemente, para un equipo reversible, esta dirección es elegida arbitrariamente y los diferentes términos son entonces susceptibles de intercambiarse según la elección hecha para la dirección del desplazamiento.

De este modo, para hacer retroceder el equipo, el procedimiento puede describirse como sigue.

A partir de una posición inicial tal que la al menos una grapa anterior y la al menos una grapa posterior son ambas bloqueadas sobre la guía, se realizan las etapas siguientes:

- alargamiento del al menos un segundo cilindro y luego

- alargamiento del al menos un primer cilindro y luego

- acortamiento del al menos un segundo cilindro y luego

- acortamiento del al menos un primer cilindro.

Lo anterior solamente corresponde a una inversión mecánica o semántica, sin que la invención sea por ello diferente y sin que ello cambie el funcionamiento general del motor.

Un tercer aspecto de la invención es un elemento móvil que comprende dicho motor, por ejemplo, un cerrojo motorizado.

Las grapas pueden comprender un casquillo de chapa, en particular metálica, hueca. Además, pueden comprender asimismo un material macizo y elásticamente deformable, por ejemplo de caucho. Estas grapas pueden comprender, además, en una banda de apoyo destinada a ponerse en contacto con la guía, unos medios antiderrapantes adaptados a la naturaleza de la guía y a los esfuerzos a transmitir.

Unos motores según la invención presentan ventajas económicas y de fiabilidad. La utilización de materiales piezoeléctricos está particularmente adaptada para realizar pequeños motores de control, en particular para la industrial aeronáutica.

Otras particularidades y ventajas de la invención se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la descripción siguiente, relativa a ejemplos no limitativos.

En los dibujos adjuntos:

- la Figura 1 es una vista en perspectiva de un motor según la invención;

- la Figura 2 es una vista explosionada del estator del motor de la Figura 1;

- la Figura 3 es una sección longitudinal en una grapa, en forma de casquillo, del motor de la Figura 1;

- las Figuras 4A a 4E ilustran un modo de desplazamiento lineal del motor de la Figura 1;

- la Figura 5 es un esquema de una alimentación eléctrica para el motor de la Figura 1; y

- la Figura 6 es una ilustración de curvas características de tensión de alimentación eléctrica en función del tiempo para un desplazamiento lineal y para una rotación del motor de la Figura 1.

La Figura 1 representa un motor 1, montado en un tubo cilíndrico 2, de eje X de revolución, que le sirve de guía y de soporte. El motor comprende un equipo 3, para desplazarse linealmente, según una dirección

longitudinal L paralela al eje X, dentro del tubo 2. El motor 1 comprende además un rotor 6 y el equipo constituye un estator 4 previsto para accionar el rotor 6 en rotación R alrededor del eje X. El estator 4 y el rotor 6 tienen cada uno una forma general de revolución, cuyo eje se confunde con el eje X del tubo 2; están axialmente atravesados por un árbol de rotación 7. El árbol 7 es móvil en rotación con el rotor 7; está previsto para fijar un elemento, no representado, por ejemplo un cerrojo, accionado por el motor 1. El rotor y el estator están en contacto según un plano de contacto PC transversal, es decir, perpendicular al eje X del tubo 2. Se denomina parte “delantera” del motor la parte del motor en la que está montado el rotor 6. De este modo, el rotor 6 está montado en la parte delantera del estator.

A continuación se describirá el estator 4 con referencia a las Figuras 1 y 2. La Figura 2 representa, de manera explosionada, las principales piezas constitutivas del estator. Estas piezas son: dos primeros cilindros 11, 12, de los cuales un cilindro derecho 11 y un cilindro izquierdo 12, dos segundos cilindros 21, 22 de los cuales un cilindro superior 21 y un cilindro inferior 22, una grapa anterior 30A, una grapa posterior 30Z, un acoplador anterior 40A, un acoplador posterior 40Z, un contrapeso anterior 50A u un contrapeso posterior 50Z. Los dos acopladores son de formas y de tamaños idénticos entre sí. Los dos contrapesos son de tamaños y de formas idénticos entre sí. Los contrapesos y los acopladores son piezas rígidas que comprenden cada una un orificio 8 cilíndrico que las atraviesa longitudinalmente para el paso y el guiado en rotación del árbol 7.

Los términos “izquierda”, “derecha”, “arriba” y “abajo” solamente se utilizan para indicar la posición relativa de las piezas en la posición del motor tal como se ilustra en las Figuras. Sin embargo, esta posición del motor es arbitraria y el motor, en su configuración real, puede tener una posición cualquiera y variable en el espacio. En particular, los términos “izquierda” y “derecha” se refieren a una vista desde atrás.

El acoplador posterior 40Z, visto desde delante o detrás, tiene una forma de mariposa de la que un cuerpo 41, cúbico, está atravesado por uno de los orificios 8. Además, comprende, a ambos lados del cuerpo, dos alas 42 simétricas, que se extienden transversalmente desde el cuerpo 41. El acoplador está limitado longitudinalmente por dos caras planas, perpendiculares al eje longitudinal X del motor, una cara de colocación de los cilindros 47 y una cara de tope 48. Cada una de las alas está limitada exteriormente por una parte de cilindro 44 de revolución alrededor del eje X, que se extiende desde la cara posterior 43Z y está limitada en la parte delantera por un escalonado 46.

El acoplador anterior 40A está dispuesto frente al acoplador posterior 40Z, de modo que sus caras de colocación de cilindros respectivas 47 queden una frente a la otra. Los acopladores están además dispuestos en cuadratura de modo que las alas 42 del acoplador posterior 40Z están dispuestas a la derecha y a la izquierda de su cuerpo 41, mientras que las alas del acoplador anterior 40A están dispuestas por encima y por debajo de su cuerpo.

El contrapeso posterior 50Z comprende una masa cilíndrica 51 de eje de revolución X, perforada en su eje por uno de los orificios 8 y limitada en la parte posterior por una superficie exterior 57 y hacia la parte anterior por una superficie interior 58, ambas planas

y perpendiculares al eje X. Comprende además dos apéndices 52 dispuestos simétricamente por encima y por debajo del eje X y que se extienden longitudinalmente hacia la parte delantera de la superficie interior 58.

Los apéndices 52 tienen formas complementarias de las del acoplador posterior, con el fin de que el acoplador pueda encajarse de modo que los apéndices 52 sirven de guiado deslizante longitudinal durante un desplazamiento longitudinal relativo del acoplador y del contrapeso. Cada uno de los apéndices está limitado exteriormente por una parte de cilindro 54 de revolución alrededor del eje X, del mismo diámetro que las partes de cilindro 44 que limitan exteriormente las alas 42. La masa 51 tiene un diámetro superior al de las partes de cilindro, de modo que forma un escalonado 56. Cada apéndice está limitado hacia delante por una cara plana 53, perpendicular al eje X.

El contrapeso anterior 50A está dispuesto frente al contrapeso posterior 50Z de modo que sus caras interiores respectivas 58 queden una frente a la otra. Los contrapesos están, además, dispuestos en cuadratura de modo que los apéndices 22 del contrapeso anterior 50A estén dispuestos a la derecha y la izquierda permitiendo de este modo el encajado y el deslizamiento del acoplador anterior 40A en el contrapeso anterior 50A.

De este modo, cada apéndice 52 está situado frente a un ala 42 y la cara 53 de cada apéndice 52 está situada frente a una cara de colocación de cilindros 47 de un acoplador 50A, 50Z. La cara exterior 57 del contrapeso anterior 50A define el plano de contacto PC entre dicho contrapeso anterior y el rotor 6.

Los cilindros 11, 12, 21, 22 son cilindros de revolución, de tamaños idénticos y realizados en una cerámica piezoeléctrica. Los cilindros están dispuestos en sentido longitudinal, paralelamente al árbol 7 y equidistantes de este mismo árbol. Están repartidos regularmente alrededor del árbol 7 de modo que si se les mira desde la parte frontal hacia la parte posterior y cuando se realiza el giro del árbol en el sentido trigonométrico a partir del cilindro izquierdo 12, se encuentra sucesivamente, cada uno separado del otro en un ángulo de 90 grados: el cilindro izquierdo 12, el cilindro superior 21, el cilindro derecho 11 y luego el cilindro inferior 22 (ver Figura 5).

El motor 1 comprende además una alimentación eléctrica, no representada en las Figuras 1 y 2, pero esquematizada en la Figura 5. Esta alimentación permite aplicar, entre dos extremos opuestos longitudinalmente de cada uno de los cilindros, una tensión apropiada para cada uno de los cilindros. De este modo, bajo la acción de esta tensión y de su variación, un cilindro piezoeléctrico puede alargarse o acortarse. Los tamaños de los cilindros son, por lo tanto, idénticos, únicamente para condiciones de tensión idénticas. En la Figura 2, a título de ilustración, una tensión V21 aplicada al cilindro superior 21 está representada en forma de un vector.

Cada cilindro está montado fijo entre la cara de un apéndice y la cara de colocación de cilindros de un acoplador. El cilindro derecho 11 está montado entre el apéndice derecho del contrapeso anterior 50A y el ala derecha del acoplador posterior 40Z. El cilindro izquierdo 12 está montado entre el apéndice izquierdo del contrapeso anterior 50A y el ala izquierda del acoplador posterior 40Z. El cilindro superior 21 está montado entre el apéndice superior de con-

trapeso posterior 50Z y el ala inferior del acoplador anterior 40A. El cilindro inferior 22 está montado entre el apéndice inferior del contrapeso posterior 50Z y el ala inferior del acoplador anterior 40A. Las impresiones 10 de los cilindros en el acoplador y el contrapeso posteriores están representadas en la Figura 2.

Las grapas 30A, 30Z, son casquillos metálicos flexibles de sección sustancialmente trapezoidal. Tienen una forma de revolución y su diámetro interior es igual al diámetro de las partes cilíndricas 44, 54. Las dos grapas son idénticas. Una sección parcial por un plano transversal está representado en la Figura 3. Cada grapa comprende, en su periferia exterior, una banda de apoyo 31 cilíndrica, que forma la base menor del trapecio. Comprende además un canto anterior 32A y un canto posterior 32Z, cuyo diámetro interior define el diámetro interior de la grapa. La separación longitudinal de los cantos 32A, 32Z define la base mayor del trapecio. Cada canto está unido a la banda de apoyo por un flanco troncocónico 33. La base mayor del flanco 33 está articulada sobre la banda de apoyo 31 y su base menor está articulada sobre el canto. La grapa es adecuada para deformarse, de forma radial y longitudinal, bajo la acción de un esfuerzo longitudinal.

El canto anterior 32A de la grapa anterior 30A está fijado contra el escalonado 56 del contrapeso anterior 50A y su canto posterior 32Z está fijado contra el escalonado 46 del acoplador anterior 40A. El canto anterior 32A de la grapa posterior 30Z está fijado contra el escalonado 46 del acoplador posterior 40Z y su canto posterior 32Z está fijado contra el escalonado 56 del contrapeso posterior 50Z. De este modo, un deslizamiento longitudinal de un acoplador en relación con el contrapeso correspondiente genera una deformación longitudinal de la grapa que está fijada en ellos. La deformación longitudinal de esta grapa genera una deformación radial de esta misma grapa. En el ejemplo ilustrado, una aproximación del acoplador y del contrapeso genera una expansión radial de la grapa hasta que la banda de apoyo 31 de la grapa entra en contacto con el interior del tubo 2, permitiendo de este modo un acoplamiento de la grapa en el tubo. Por el contrario, un alargamiento relativo del acoplador y del contrapeso genera un repliegue radial de la grapa y el desprendimiento de la banda de apoyo 31 del interior del tubo 2. Para limitar los esfuerzos sobre las grapas, la aproximación de un contrapeso y del acoplador en el que está encajado estará limitado por el tope de la cara de tope 48 del acoplador en la cara interior 57 del contrapeso.

Los apilamientos constituidos por el contrapeso posterior 50Z, el acoplador posterior 40Z, los cilindros 11, 12, 21, 22 del acoplador anterior 40A y del contrapeso anterior 50A están montados pretensados en sentido longitudinal en el árbol 7. Esto permite proteger las cerámicas y optimizar su funcionamiento. Por otra parte, esto asegura un enclavamiento de las funciones de traslación y de rotación, cuando el motor ya no está alimentado con energía eléctrica. Los medios de pretensión comprenden, en la parte delantera, una tuerca 61 que actúa como tope, apoyada sobre una cara delantera 62 del rotor 6. Estos medios de pretensión comprenden, además, en oposición a la tuerca 61, unos medios de tope, no representados, en apoyo sobre la cara exterior 57 del contrapeso posterior 50Z. Estos medios de tope están previstos para

permitir el alargamiento y la rotación del estator en relación con el árbol 7.

Las formas de las piezas están designadas de modo que hagan las figuras suficientemente legibles, pero no son necesariamente formas óptimas. De este modo, con el fin de optimizar la carrera de los cilindros, el motor está preferentemente configurado para que la deformación radial de las grapas sea de mayor amplitud que su deformación longitudinal correspondiente.

Se describirá a continuación un movimiento lineal del motor 1 con referencia a las Figuras 4A a 4E. Al ser el tubo rectilíneo, este movimiento es una traslación. Las Figuras describen un desplazamiento del motor de un paso P hacia delante. Un movimiento hacia atrás se efectuaría de la misma manera. Las Figuras 4A a 4E son secciones longitudinales del equipo 3 según una superficie virtual IV-IV, representada en la Figura 5, esta superficie une el eje del cilindro alto 21 y el eje del cilindro derecho 11, se extiende verticalmente hacia arriba desde el eje del cilindro alto 21 y que se extiende horizontalmente hacia la derecha desde el eje del cilindro derecho 11. En el movimiento de traslación, el cilindro izquierdo 12 tiene movimientos idénticos y simultáneos a los del cilindro derecho 11, estando representado solamente éste en las Figuras 4A a 4E. Del mismo modo, el cilindro inferior 22 tiene movimientos idénticos y simultáneos a los del cilindro alto 21, estando representado solamente éste en las Figuras 4A a 4E.

La Figura 5 representa una sección transversal V-V del equipo, visto desde la parte delantera, en la vertical de los cilindros (ver Figura 4A) y el esquema de la alimentación eléctrica del motor. Con respecto a una masa eléctrica T, una tensión variable V11 está aplicada al cilindro derecho 11, una tensión variable V12 está aplicada al cilindro izquierdo 12, una tensión variable V21 está aplicada al cilindro alto 21 y una tensión variable V22 está aplicada al cilindro inferior 22.

En la Figura 6, unos gráficos de traslación V21T, V22T, V11T y V12T, ilustran, respectivamente, la variación de las tensiones V21, V22, V11 y V12 en el curso de la traslación de las Figuras 4A a 4E. Los gráficos de traslación están graduados en abscisas según una escala de tiempos en milisegundos y en ordenadas según una escala de tensión arbitraria.

En una posición inicial arbitraria representada en la Figura 4A, los cilindros 21, 22 tienen la misma longitud inicial, estando las grapas acopladas en la pared interior del tubo 2 y los acopladores están a tope con el contrapeso con el cual están respectivamente encajados.

Según se ilustra en la Figura 4B y en los gráficos de traslación de la Figura 6 entre las abscisas 0 y 0,5, en un primer tiempo los primeros cilindros 11, 12 se alargan en la longitud de paso P bajo la acción de las tensiones V11 y V12 mantenidas constantes con valor 1. Al estar bloqueado el desplazamiento del acoplador posterior 40Z por el acoplamiento de la grapa posterior 30Z, es el contrapeso anterior 50A el que avanza en el paso P, lo que tiene por efecto desacoplar la grapa anterior 30A con respecto al tubo 2.

Según se ilustra en la Figura 4C y en los gráficos de traslación en la Figura 6 entre las abscisas 0,5 y 1, en un segundo tiempo los segundos cilindros 21, 22 son alargados en la longitud de paso P bajo la acción de tensiones V21 y V22 mantenidas constantes

con valor 1. Durante este segundo tiempo, las tensiones V11 y V12 se mantienen constantes con valor 1, con el fin de mantener constante el alargamiento de los primeros cilindros. El acoplador anterior 40A se aproxima hasta llegar a ponerse a tope con el contrapeso anterior 50A, deformando la grapa anterior 30A hasta que quede acoplada de nuevo en el tubo 2.

Tal como se ilustra en la Figura 4D y en los gráficos de traslación de la Figura 6 entre las abscisas 1 y 1,5, en un tercer tiempo los primeros cilindros 11, 12 son acortados en la longitud de paso P bajo la acción de tensiones V11 y V12 mantenidas constantes con valor 0. Durante este segundo tiempo, las tensiones V21 y V22 son mantenidas constantes con valor 1, con el fin de mantener constante el alargamiento de los segundos cilindros. Al estar bloqueado el desplazamiento del contrapeso anterior 50A por el acoplamiento de la grapa anterior 30A, es precisamente el acoplador posterior 40Z el que es avanzado en el paso P, lo que tiene por efecto desacoplar la grapa posterior 30Z con respecto al tubo 2.

Según se ilustra en la Figura 4E y en los gráficos de traslación de la Figura 6 entre las abscisas 1,5 y 2, en un cuarto tiempo, los segundos cilindros 21, 22 son acortados en la longitud de paso P bajo la acción de tensiones V21 y V22 mantenidas constantes con valor 0. Durante este segundo tiempo, las tensiones V11 y V12 se mantienen constantes a valor 0, con el fin de mantener cortos los primeros cilindros. El contrapeso posterior 50Z se aproxima hasta llegar a ponerse a tope con el acoplador posterior 40Z, deformando así la grapa posterior 30Z hasta que se acople de nuevo con el tubo 2. El elemento móvil 3 se encuentra entonces en una posición final similar a la posición inicial de la Figura 4A, pero desplazado de la posición inicial del paso P.

Se pueden realizar varios pasos sucesivamente. El paso puede elegirse en función de la deformación longitudinal máxima aceptable por las grapas. Las dimensiones longitudinales de las alas 42 y de los apéndices 52 son elegidas con el fin de asegurar un guiado y un encajado permanentes entre acopladores y contrapesos. La duración, en este caso de 0,5 milisegundos, de cada una de las fases descritas anteriormente es, como mínimo, la necesaria para que cada uno de los cilindros se alargue o se acorte en la longitud P.

El movimiento de rotación se obtiene utilizando un efecto de rotación de modo. Este efecto se obtiene por la combinación de dos modos de flexión transversal del estator en régimen libre - libre, siendo estos dos modos ortogonales entre sí. Los nudos de vibración de estos dos modos de flexión están situados en la vertical de las grapas.

Los gráficos de rotación V21R, V22R, V11R y V12R de la Figura 6 ilustran, respectivamente, la variación de las tensiones V21, V22, V11 y V12 que permiten accionar la rotación del rotor 6 con respecto al estator 4. Los gráficos de rotación están graduados según una escala de tiempos en cienmilésimas de segundos en abscisas y una escala de tensión arbitraria en el eje de ordenadas.

Para producir la rotación se aplica a los cilindros unas tensiones sinusoidales de alta frecuencia, del orden de  $10^5$  hercios. Estas tensiones están en cuadratura de fase, es decir, que la tensión V11 aplicada al cilindro derecho 11 está avanzada en un cuarto de periodo sobre la tensión V22 aplicada al cilindro inferior 22, a su vez avanzada en un cuarto de periodo sobre

la tensión V12 aplicada al cilindro izquierdo 12, a su vez avanzada en un cuarto de periodo sobre la tensión V21 aplicada al cilindro alto 21.

De este modo, el alargamiento del cilindro alto 21 simultáneamente al acortamiento del cilindro inferior 22 tiende a hacer flexionar el estator alrededor de un centro virtual situado bajo el estator, mientras que el alargamiento del cilindro derecho 11 simultáneamente al acortamiento del cilindro izquierdo 12 tiende a hacer flexionar el estator alrededor de un centro virtual situado a la izquierda del estator y a la inversa.

Los alargamientos y acortamientos sucesivos de los cilindros, producen en la cara exterior 57 del contrapeso anterior 50A, unas ondas progresivas adecuadas para accionar el rotor en rotación.

La inversión de los retrasos de fase entre las diferentes tensiones permite invertir el sentido de rotación del rotor 6.

Los mismos elementos activos, en este caso los dos pares de cilindros son, por lo tanto, utilizados por el motor 1, a la vez para la traslación y la rotación.

Evidentemente, la invención no está limitada a los ejemplos que acaban de ser descritos y se pueden

aportar numerosas mejoras a estos ejemplos sin apartarse por ello del alcance de la invención.

Así, en lugar de un casquillo, es posible, por ejemplo, realizar grapas de forma tórica en un material elastomérico. Dichas grapas pueden llegar a apretarse alrededor o en el interior de una guía.

En lugar de una guía rectilínea, tal como la descrita anteriormente, la guía puede ser curva y permitir de este modo otros desplazamientos lineales que la simple traslación.

El número de cilindros puede ser diferente de cuatro y las grapas pueden ser más numerosas. De este modo, utilizando las grapas por pares, estando al menos dos grapas, en cualquier momento, grapadas a la guía, se aumenta la estabilidad del motor en el tubo.

En lugar de un solo rotor, el motor puede comprender dos, cada uno en un extremo del estator, uno en la parte delantera y otro en la parte posterior. Estos dos rotores pueden entonces estar ventajosamente unidos en rotación, por ejemplo mediante el árbol, a través del estator. Esta disposición permite acumular los pares proporcionados por cada uno de los rotores aumentando la potencia del motor.

## REIVINDICACIONES

1. Motor (1) que comprende un estator (4) y un rotor (6), comprendiendo el estator unos cilindros (11, 12, 21, 22) para maniobrar unas grapas (30A, 30Z) que aseguran el mantenimiento del estator y su desplazamiento lineal (L) a lo largo de una guía (2), siendo estos mismos cilindros empleados para la puesta en rotación (R) del rotor.

2. Motor según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el estator comprende un equipo (3) que está constituido al menos por una grapa anterior (30A) y una grapa posterior (30Z) y al menos un primer cilindro (11, 12) y un segundo cilindro (21, 22) de doble efecto longitudinal, siendo mantenida la primera grapa entre los extremos anteriores respectivos de dichos cilindros y siendo mantenida la segunda grapa entre los extremos posteriores respectivos de dichos cilindros, estando los extremos anterior y posterior del primer cilindro respectivamente situados delante de los extremos anterior y posterior del segundo cilindro, siendo dichas grapas deformables de forma reversible de modo que si una de las grapas es comprimida entre los extremos de los cilindros que la mantienen, sufre una expansión transversal.

3. Motor según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque comprende además unos medios para controlar los movimientos alternativos de alargamiento y de acortamiento de cada uno de los cilindros, estando desfasados los movimientos respectivos del primer cilindro y del segundo cilindro.

4. Motor según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque la guía (2) es tubular y porque el mantenimiento del equipo se realiza por encajado de al menos una grapa (30A, 30Z) en el interior de la guía.

5. Motor según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque comprende además un contrapeso anterior (50A), un contrapeso posterior (50Z), un acoplador anterior (40A) y un acoplador posterior (40Z), estando el al menos un primer cilindro montado entre el contrapeso anterior y el acoplador posterior, estando el al menos un segundo cilindro montado entre el acoplador anterior y contrapeso posterior, sirviendo el contrapeso y el acoplador posteriores para

deformar al menos una grapa posterior, sirviendo el contrapeso y el acoplador anteriores para deformar al menos una grapa anterior.

6. Motor según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque las grapas son casquillos metálicos flexibles.

7. Motor según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque el rotor y el estator se mantienen pretensados en sentido longitudinal.

8. Motor según la reivindicación 7, **caracterizado** porque el rotor está en contacto con una cara exterior (57) del contrapeso anterior (50A).

9. Motor según la reivindicación 8, **caracterizado** porque al menos un primer cilindro es un par de primeros cilindros (11, 12) y porque al menos un segundo cilindro es un par de segundos cilindros (21, 22), estando dichos cilindros regularmente dispuestos alrededor de un eje longitudinal (X) del motor, equidistantes de este eje, ocupando cada cilindro una posición diametralmente opuesta a la de un cilindro del mismo par.

10. Motor según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado** porque los cilindros comprenden un material electroactivo.

11. Elemento móvil que comprende un motor según una de las reivindicaciones anteriores.

12. Procedimiento para desplazar un motor según una de las reivindicaciones 2 a 10, linealmente a lo largo de una guía (2) que comprende, a partir de una posición inicial tal que la menos una grapa anterior (30A) y la al menos una grapa posterior (30Z), están ambas bloqueadas en la guía, las etapas siguientes:

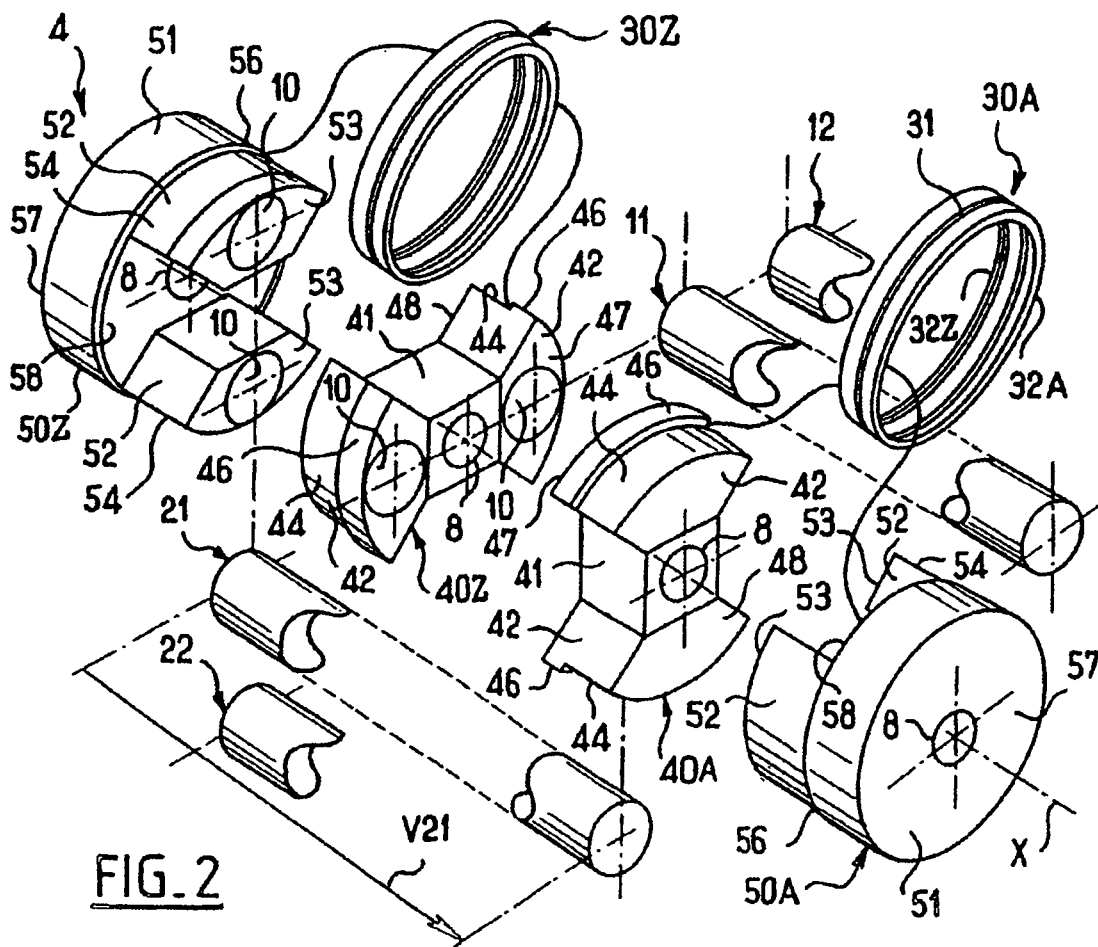
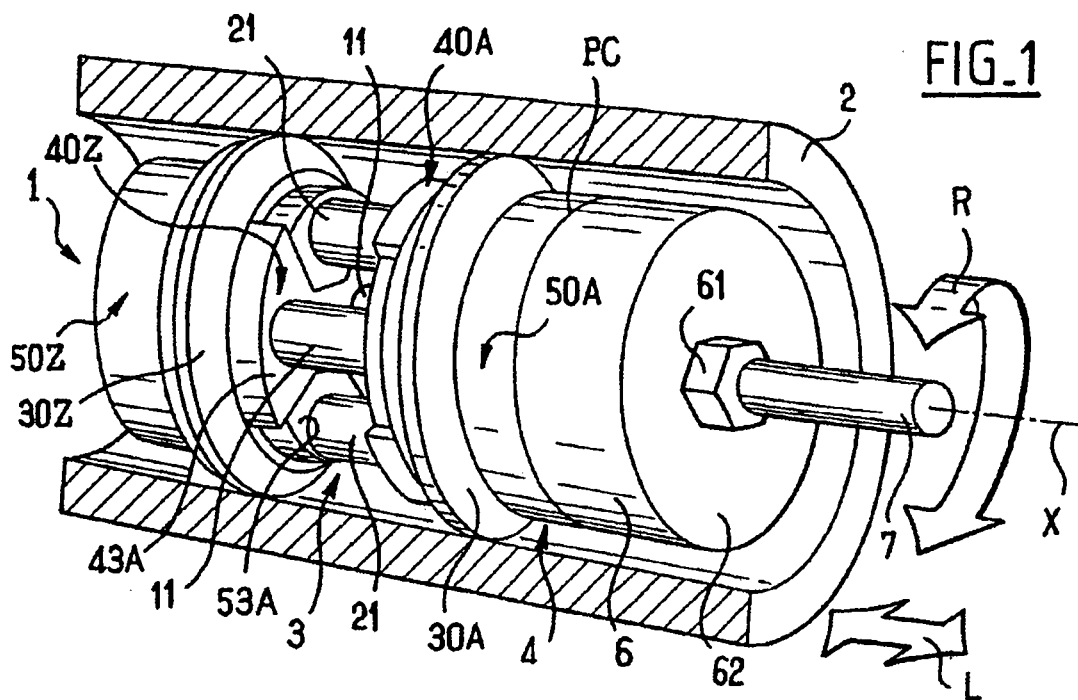
- alargamiento de al menos un primero cilindro (11, 12); y luego,

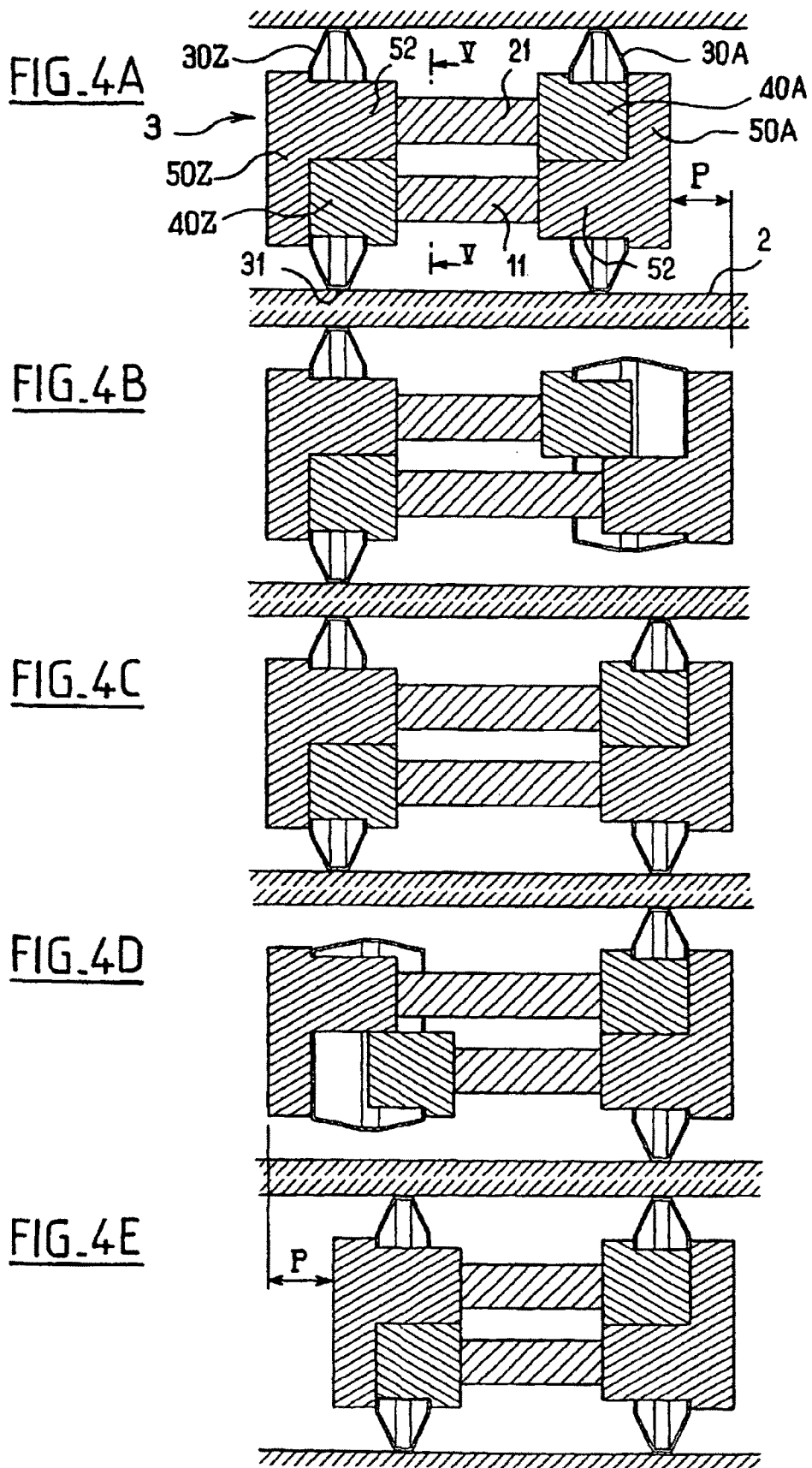
- alargamiento de al menos un segundo cilindro (21, 22); y luego,

- acortamiento de al menos un primer cilindro; y luego,

- acortamiento de al menos un segundo cilindro.

13. Procedimiento para hacer girar el rotor (6) de un motor según la reivindicación 10, **caracterizado** porque se genera con la ayuda de los cilindros una onda progresiva en la cara exterior (57) del contrapeso anterior (50A)





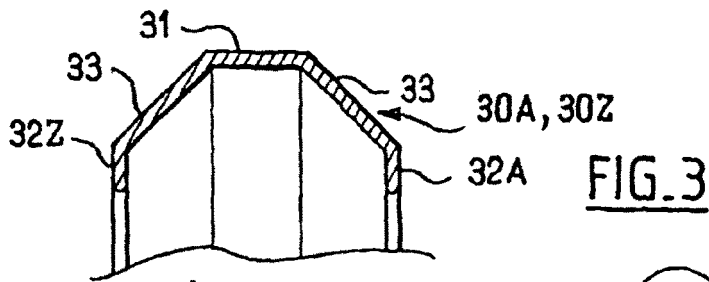


FIG. 3

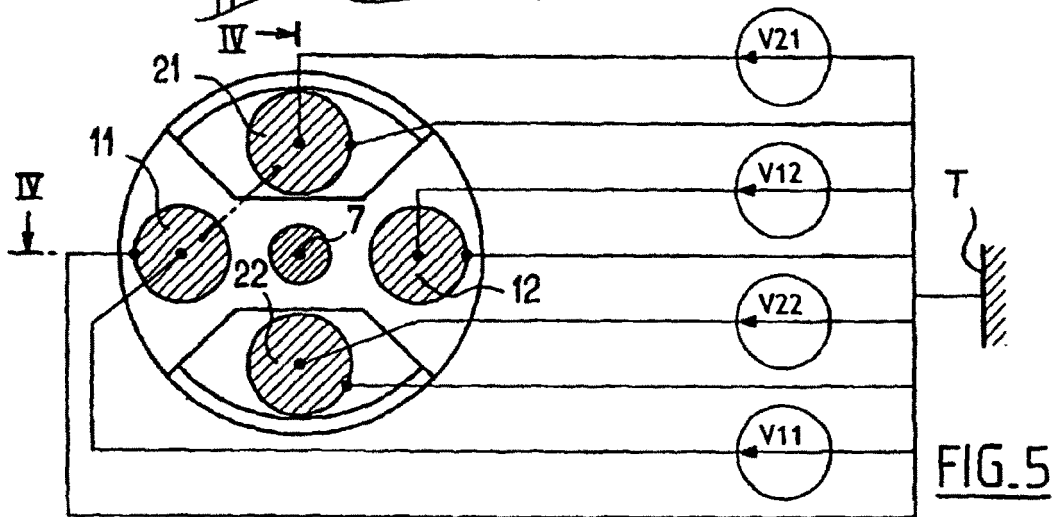


FIG. 5

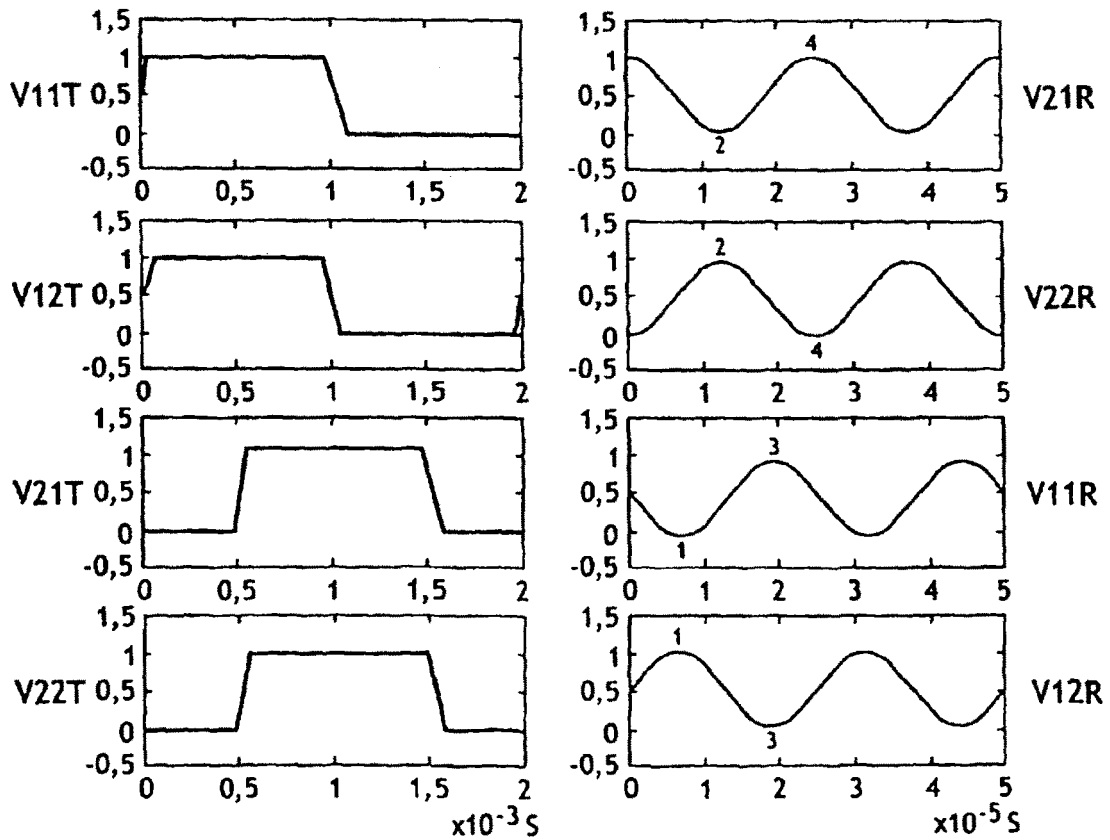


FIG. 6