



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 282 424**

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

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **02740236 .1**

86 Fecha de presentación : **08.04.2002**

87 Número de publicación de la solicitud: **1384308**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **28.01.2004**

54 Título: **Accionamiento piezoeléctrico y su uso como accionamiento para cargas pesadas.**

30 Prioridad: **06.04.2001 DE 101 17 465**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.10.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.10.2007

73 Titular/es: **Hans Richter**
Ortlerstrasse 77
86163 Augsburg, DE

72 Inventor/es: **Richter, Hans**

74 Agente: **Botella Reyna, Antonio**

ES 2 282 424 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

Accionamiento piezoeléctrico y su uso como accionamiento para cargas pesadas.

La invención concierne a un accionamiento piezoeléctrico, en particular a un accionamiento de esta clase para fuerzas de accionamiento o potencias de accionamiento relativamente elevadas.

Un accionamiento piezoeléctrico de este tipo puede configurarse tanto como accionamiento giratorio (en el que se genera un giro relativo entre la parte de referencia y la parte accionada) como también como accionamiento lineal (en el que se genera un movimiento de desplazamiento lineal o casi lineal entre la parte de referencia y la parte accionada).

Un ámbito de aplicación principal de la invención es el uso de un accionamiento piezoeléctrico como accionamiento de ajuste, donde pueden generarse fuerzas de ajuste, por ejemplo para accionar los frenos de un vehículo automóvil.

El concepto básico de tal accionamiento piezoeléctrico es conocido, por ejemplo, por el modelo de utilidad alemán 94 19 802.

La estructura básica de tal accionamiento piezoeléctrico comprende una hilera de piezopaquetes configurados respectivamente como pilas de piezoelementos, estando dispuestos los piezopaquetes entre la parte de referencia y la parte accionada, concretamente de manera que la altura de la pila de piezoelementos en cada piezopaquete discorra perpendicular a la superficie de la parte accionada y a la dirección del movimiento relativo entre la parte de referencia y la parte accionada. Estas piezopilas sirven para generar de forma selectiva una fuerza de apriete entre la parte de referencia y la parte accionada y, por tanto, en lo que sigue se designan como piezos de apriete. Estos piezos de apriete están fijados respectivamente con un extremo (refiriéndose el término de extremo a la respectiva disposición de las pilas de piezoelementos) a la parte de referencia y se apoyan con el otro extremo en la parte accionada, sin que tengan que fijarse a ella. La orientación de la hilera sobre la que están dispuestos estos piezos de apriete unos junto a otros, discurre transversal a la dirección del movimiento relativo entre la parte accionada y la parte de referencia.

Otros piezopaquetes configurados también respectivamente como pilas de piezoelementos, los cuales debido a su función se designan a continuación como piezos de pasos, están orientados con su dirección de altura de la pila aproximadamente perpendiculares a la dirección de altura de la pila de los piezos de apriete y en la dirección del movimiento relativo entre la parte de referencia y la parte accionada. Estos piezos de pasos están fijados de nuevo respectivamente con un extremo a la parte de referencia y con el otro extremo están unidos con el extremo que se apoya sobre la parte accionada de un respectivo piezo de apriete (o un subgrupo de piezos de apriete).

Están presentes dos grupos de piezos de apriete y dos grupos de piezos de pasos. Estos se controlan eléctricamente, de modo que se active un respectivo grupo de piezos de apriete, es decir, se solicite éste eléctricamente en el sentido de una expansión, y estos piezos de apriete se aplican con acción de apriete a la parte accionada, mientras que se desactiva el otro de grupo de piezos de apriete, es decir está conectado en posición de liberación, o sea, no ejerciendo una acción de apriete con la parte accionada. A continua-

ción, se activa el grupo de piezos de pasos asociado al grupo de piezos de apriete conectados con acción de apriete, de modo que se expanden los piezos de pasos en cuestión y, por tanto, los extremos de los piezos de apriete que se aprietan sobre la parte accionada se desvían aproximadamente una distancia correspondiente en la dirección de movimiento de la parte accionada. Por tanto, la parte accionada se mueve aproximadamente una distancia correspondiente por debajo de los piezos de apriete del otro grupo de piezos de apriete configurados en la posición de liberación. Posteriormente, se conmuta el control, es decir, los piezos de apriete que apretaban anteriormente, al igual que los piezos de pasos correspondientes se conectan en posición de liberación, de modo que los piezos de apriete que apretaban anteriormente se liberan de la posición de apriete y vuelven a su posición de partida, mientras que, simultáneamente, los otros grupos de piezos de apriete que estaban previamente en la posición de liberación, se conectan por medio de la activación en su posición de apriete y se activan a continuación también sus piezos de pasos. De este modo, los dos grupos de piezos de apriete con los respectivos piezos de pasos asociados generan una secuencia de pasos continua por efecto de su utilización alternativa, con lo que la parte accionada se mueve paso a paso. Dado que este control de los piezos se realiza en el rango de frecuencia de algunos kilohertzios, por ejemplo 25 kHz, se obtiene un movimiento casi continuo de la parte accionada con relación a la parte de referencia.

Por el documento WO 00/17944 es conocido un accionamiento piezoeléctrico similar, cuyos piezos de apriete están apoyados por el lado de la carcasa a través de un puente rígido común que, por su parte, se apoya contra la carcasa por medio de un arriostrado de cuñas.

Las explicaciones anteriores reproducen la teoría del mecanismo de funcionamiento. Sin embargo, como se ha demostrado, el principio de construcción descrito hasta aquí de un accionamiento piezoeléctrico no se puede materializar aún así en la práctica en modo alguno.

Los movimientos que se están concretando son extraordinariamente pequeños. El recorrido de expansión disponible de un piezopaquete asciende aproximadamente a un 1% de la altura de la pila. Por tanto, para una altura de la pila de los piezos de apriete de aproximadamente 10 mm resulta así una desviación de la expansión de aproximadamente 10 μ m. Por otro lado, en todo caso, las tolerancias de los componentes mecánicos del accionamiento están en el rango de centésimas de milímetro incluso con una fabricación altamente precisa. Asimismo, la altura de la pila de los piezos está sujeta a tolerancias de fabricación, de modo que, en una hilera de piezos dispuestos unos junto a otros, todos ellos son de alturas muy diferentes dentro de estas tolerancias. Además, debe aclararse que el recorrido de expansión de los piezoaprietes, cuando se adopta aquí un rango de aproximadamente 10 μ m, está en el rango de las profundidades de rugosidad de superficies de piezas de trabajo mecanizadas mecánicamente. No obstante, se sigue de esto que el conjunto supone necesariamente para el funcionamiento que los piezos de apriete se mantienen siempre bajo un pretensado tirante entre la parte de referencia y la parte accionada, dado que, de lo contrario, en el recorrido de expansión disponible no pueden conseguirse la fuerza de apriete necesaria ni, por tanto, la fuerza de

rozamiento necesaria para mover la parte accionada. Se sobrentiende que los piezos de apriete no necesitan actuar directamente sobre la parte accionada, sino que la aplicación puede realizarse, por ejemplo, por medio de un zapata de aplicación.

El objeto de la invención es crear una disposición apta para la práctica de un accionamiento piezoeléctrico del tipo citado.

Este objeto se resuelve según la invención por medio de la disposición indicada en la reivindicación 1.

Configuraciones ventajosas de la invención son objeto de las reivindicaciones subordinadas.

Por tanto, para la viabilidad práctica y la capacidad de trabajo de un accionamiento piezoeléctrico de este tipo es de importancia clave un diseño de la disposición tal que los piezos de apriete se apoyen con uno de sus extremos en un puente "semirrígido" común a todos los piezos de apriete de la hilera de piezos de apriete, pero con su otro extremo se apoyen en un puente "rígido", pudiendo disponerse el puente "semirrígido" o "rígido" tanto en la parte de referencia como también en la parte accionada.

La importancia de este estado de cosas y del mecanismo de funcionamiento de la invención logrado con ello se describe convenientemente con detalle a continuación con ayuda de un ejemplo de realización y con referencia a los dibujos adjuntos. En los dibujos, muestran:

La figura 1, un alzado lateral esquematizado de un accionamiento piezoeléctrico según la invención,

La figura 2, una representación de principio esquematizada de tal accionamiento piezoeléctrico vista de forma correspondiente a la flecha II de la figura 1,

La figura 3, una representación fuertemente exagerada de la disposición según la figura 2 en estado de reposo del accionamiento,

La figura 4, una representación fuertemente exagerada de la disposición según la figura 2 durante la activación de uno de los grupos de piezos de apriete, y

La figura 5, una representación fuertemente exagerada de la disposición según la figura 2 durante la activación del otro grupo de piezos de apriete.

La figura 1 muestra la estructura -ya descrita en la introducción en sus rasgos fundamentales- de un accionamiento piezoeléctrico con ayuda del ejemplo de un accionamiento de giro y ajuste que podría servir para accionar un freno de un vehículo automóvil y desarrollar un par de giro de, por ejemplo, 30 Nm. No obstante, no están representados los detalles correspondientes y éstos tampoco se describen aquí.

Según la figura 1, el accionamiento consta de un estator 1, que forma la parte de referencia, y un rotor 2, que forma la parte accionada, y el piezomecanismo dispuesto entre ellos. El piezomecanismo comprende una hilera de piezos de apriete 3 y una hilera de piezos de pasos 4. Los piezos de apriete 3 están fijados respectivamente entre una brida de sujeción 31 asociada individualmente al piezo de apriete en cuestión con una zapata 32 conformada en ella y una placa de puente 5 común a todos los piezos de apriete. Por su parte, la placa de puente 5 está apoyada en un contraelemento 11 del estator 1 bajo un pretensado tirante, preferiblemente plano, a través de un elemento de resorte de compresión 6 representado esquemáticamente, y la zapata 32 de cada piezo de apriete 3 se apoya sobre el rotor 2, de modo que la disposición total formada por la placa de puente 5, los piezos de apriete

3 y las bridas de sujeción correspondientes 31 con las zapatas 32 está sujeta de manera tirante entre el contraelemento 11 del estator 1 y el rotor 2.

Los piezos de pasos 4 están sujetos en una respectiva jaula de sujeción 41 asociada individualmente al piezo de pasos en cuestión, que está unida en su extremo delantero con la zapata 32 de un piezo de apriete 3 asociado y que con su extremo trasero, está también unida, en una pieza o en ajuste de forma, con un elemento de soporte 12 del estator 1 común a todos los piezos de pasos. La disposición representada en la figura 1 es, como se ve, una disposición doble dispuesta simétricamente con dos piezomecanismos colocados simétricamente, de los cuales uno está dispuesto en la mitad superior del dibujo y el otro en la mitad inferior de éste. Por tanto, el rotor 2 se encuentra entre dos hileras diametralmente opuestas de piezos de apriete 3 con los respectivos piezos de pasos 3 asociados, de modo que las fuerzas de apriete ejercidas por los dos piezomecanismos actúan simétricamente entre el estator 1 y el rotor 2 y, por tanto, el cojinete del rotor 2 no está expuesto a ninguna sollicitación en un solo lado.

En la figura 1 puede verse también que, convenientemente, los piezos de apriete 3 pueden hacerse con una altura de pila más corta y con una anchura más grande y, por tanto, más robustos que los piezos de pasos 4 con mayor altura de pila y menor anchura, para que puedan generarse altas fuerzas de apriete en combinación con amplitudes de paso relativamente grandes.

La figura 2 muestra ahora una representación de principio de la disposición de piezos de apriete, vista en dirección de la flecha II de la figura 1. Se representan aquí una hilera de cuatro piezos de apriete (3.1 o 3.2), la placa de puente 5, el elemento de estator 11', el resorte de compresión 6 (representado aquí de manera fuertemente simplificada) que actúa entre el elemento de estator 11 y la placa de puente 5, y el rotor 2. La hilera de piezos de apriete comprende al menos tres piezos de apriete para generar una fuerza de apriete simétrica. Si estuvieran presentes tres piezos de apriete, el piezo de apriete central de la hilera debería ser el doble de ancho o el doble de fuerte que los dos piezos de apriete exteriores, para que también sean iguales las respectivas fuerzas cuando se activan alternativamente los piezos de apriete exteriores o el piezo de apriete interior y se genera la fuerza de apriete. En el principio representado esquemáticamente en la figura 2, el piezo de apriete central está dividido simétricamente en dos piezos individuales, de modo que están presentes en total cuatro piezos de apriete, a saber, un grupo de dos piezos de apriete interiores 3.1 y un grupo de dos piezos de apriete exteriores 3.2. Las bridas de sujeción 31 y las zapatas 32 representadas en la figura 1 no están contempladas en la representación de principio según la figura 2 ni están consideradas como componentes del respectivo piezo de apriete.

La figura 3 muestra ahora la disposición de principio según la figura 2 en representación fuertemente exagerada en el estado de reposo del accionamiento. La falta de apoyo de la placa de puente 5 está simbolizado en esta representación por medio de flechas de fuerza que actúan sobre ésta. Los cuatro piezos de apriete están representados con diferentes alturas, lo que pretende ilustrar sus tolerancias de fabricación. La placa de puente 5, que dispone de una elasticidad

propia correspondiente, se adapta, bajo la presión de pretensado que actúa sobre ella, al contorno ondulado de la hilera de piezos de apriete así obtenidos y francamente dibujado con un fuerte grado de exageración. La figura 3 muestra la situación en estado de reposo, es decir, todos los piezos de apriete están desactivados, o sea, no expandidos.

La placa de puente 5 es el componente designado al principio como puente “semirrígido”, expresando el término “semirrígido” que esta placa de puente 5 tiene la capacidad de adaptarse al contorno diferencial “ondulado”, condicionado por las tolerancias, de los diversos piezos de apriete y de aplicarse plenamente a todos los piezos de apriete, es decir, adoptar la configuración ondulada fuertemente exagerada en la figura 3. Por el contrario, la parte accionada 2, el rotor en el ejemplo de realización según la figura 1, forma el elemento designado al principio como puente “rígido”, es decir que es tan rígido en sí que no se lleva a cabo una adaptación como la de la placa de puente 5 “semirrígida”.

Si se conecta el accionamiento, se realiza primero una activación de todos los piezos de apriete que, en consecuencia, se expanden todos ellos, de modo que la placa de puente 5 se mueve a continuación una distancia correspondiente de, por ejemplo, una décima de milímetro desde la parte accionada 2, si bien se conserva sustancialmente en la ondulación representada en la figura 3. A continuación, se realiza la activación alternativa de un respectivo grupo de piezos de apriete, solapándose insignificamente la activación de uno y otro grupo de piezos de apriete, de modo que, en el momento de la conmutación, estén activados siempre los cuatro piezos de apriete.

La figura 4 muestra ahora de forma análoga a la figura 3 la situación cuando está activado el primer grupo de piezos de apriete con los piezos de apriete 3.1 y están desactivados los dos piezos de apriete exteriores 3.2 del grupo de piezos de apriete exteriores.

Por tanto, en la situación representada en la figura 4 son portante sólo los dos piezos de apriete interiores 3.1. que están desactivados y expandidos, mientras que los piezos de apriete exteriores 3.2 desactivados y, por tanto, no expandidos están liberados y no ejercen ninguna fuerza de apriete sobre la parte accionada 2. Esto está representado en la figura 4 por medio de una rendija visible cuya magnitud está representada allí como distancia d . En la práctica, esta rendija d es en realidad tan pequeña que en estado estático la placa de puente 5 “semirrígida” cerraría de nuevo inmediatamente la rendija por efecto de un curvado correspondiente.

La figura 5 muestra entonces la situación durante la activación de los dos piezos de apriete exteriores 3.2 y la activación de los piezos de apriete interiores 3.1, en la cual sólo están expandidos y son portantes los piezos de apriete 3.2. exteriores, mientras que los piezos de apriete 3.1 interiores no están expandidos y se alzan de nuevo en la distancia d desde la parte accionada 2.

Dado que el piezomecanismo se hace funcionar en la gama de frecuencias de kilohertzios, por ejemplo con 25 kHz, el estado según la figura 4 o según la figura 5 respectivamente sólo permanece durante un intervalo temporal de escasamente $20 \mu s$ (correspondiente escasamente a una semionda de la frecuencia de control, pues, como se ha dicho, hay un solapamiento más insignificante en el momento de inver-

sión). Por tanto, está definida una ventana temporal correspondiente en la que los piezos de apriete desactivados pueden ser hechos retroceder en la distancia de un paso por la desactivación de los correspondientes piezos de pasos y, simultáneamente, los respectivos piezos de apriete portantes pueden ser movidos en la dirección de avance por medio de los piezos de pasos correspondientes y, por tanto, la parte accionada 2 puede moverse adicionalmente en la distancia de un paso. Sólo durante esta ventana temporal, en la que no es portante el primer grupo de piezos de apriete, puede provocarse el avance por medio del otro grupo de piezos de apriete correspondiente a través de la desactivación de los correspondientes piezos de pasos.

Por tanto, para el funcionamiento del accionamiento electropiéxico durante la transmisión de pares de giro grandes y, como consecuencia, de altas fuerzas de apriete entre los piezos de apriete y la parte accionada 2, es funcionalmente necesario que, durante esta ventana temporal, no exista ningún apriete entre el correspondiente grupo de piezos de apriete desactivados y la parte accionada 2 (no obstante, puede observarse que en la ejecución práctica la placa de puente 5 “semirrígida” puede estar formada también por la parte accionada y el apoyo de los otros piezoextremos puede realizarse sobre la parte de referencia, de modo que puede materializarse igualmente la inversión cinemática de la situación descrita en las figuras 4 y 5). No obstante, esto significa que durante esta ventana temporal la placa de puente 5 “semirrígida” no podrá irrumpir en la zona de los respectivos piezos de apriete desactivados, es decir que no aprietan hasta el punto de que se produzca un acoplamiento por ajuste de apriete entre estos piezos de apriete desactivados y la parte accionada 2. Antes bien, la rigidez de la placa de puente 5 debe ser tan grande que, durante la ventana temporal, se reduzca parcialmente en lo posible la distancia d , pero no se llegue a su completa desaparición.

Con una frecuencia de funcionamiento de 25 kHz y un diseño correspondiente de la placa de puente 5, los ensayos prácticos han dado como resultado que durante la ventana temporal se realice una irrupción de la placa de puente 5 en la zona de los piezos de apriete interiores de aproximadamente $0,8 \mu m$ y en la zona de los piezos de apriete exteriores de aproximadamente $1,2 \mu m$.

Una rigidez demasiado reducida de la placa de puente 5 llevará a una irrupción reforzada y una rigidez demasiado grande, como se ha expuesto anteriormente, suprimiría la acción portante uniforme de todos los piezos de apriete activados.

Por tanto, el dimensionamiento y la configuración de la placa de puente 5 son críticos en muy alta medida para el funcionamiento del accionamiento piezoelectrónico. Dicha placa de puenteo debe mantener sustancialmente también en funcionamiento (véanse las figuras 4 y 5) su configuración (figura 3) adoptada en estado de reposo, pues la placa de puente 5 no deberá experimentar ella misma oscilaciones de flexión apreciables.

Por tanto, para el dimensionamiento y diseño de la placa de puente 5 necesarios según los criterios anteriormente descritos han de tenerse en cuenta los siguientes parámetros:

- el módulo de elasticidad del material del que está fabricada la placa de puente 5,

- la frecuencia de funcionamiento del piezoaccionamiento, ya que a la frecuencia de funcionamiento la placa de puente 5 deberá permanecer en sí sustancialmente rígida, pero deberá tener en estado estático la flexibilidad necesaria para adaptarse,
- las distancias transversales de los piezos de apriete.

Para una altura de la pila de piezos de apriete de, aproximadamente, 10 mm, resulta un recorrido de expansión de los piezos de apriete de aproximadamente 10 μm . Por tanto, para una capacidad de desvia-

ción estática de la placa de puente 5 entre los piezos de apriete individuales de aproximadamente 14 ... 15 μm y un comportamiento dinámico con una irrupción de aproximadamente 1 μm durante la ventana temporal citada a través de los piezos de apriete no activados, se obtiene también un funcionamiento impecable del motor.

La invención es adecuada también como accionamiento para cargas pesadas, es decir, por ejemplo, para el accionamiento de las ruedas de tanques o vehículos similares, en los que deben generarse elevados pares de giro.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Accionamiento piezoeléctrico compuesto de una pluralidad de paquetes (3) de piezos de apriete dispuestos unos juntos a otros, cada uno de ellos en forma de pilas de piezolementos que están dispuestas entre una parte de referencia (1) y una parte accionada (2) en dirección de su altura de pila y sometidas a un pretensado de compresión y a cada una de las cuales está asociado un paquete (4) de piezos de pasos en forma de una pila de piezoelementos, cuya dirección de apilamiento está dispuesta aproximadamente perpendicular a la dirección de apilamiento de los paquetes (3) de piezos de apriete y en la dirección del movimiento relativo entre la parte de referencia (1) y la parte accionada (2), y en donde todas las pilas (3) de piezos de apriete están fijadas con uno de sus extremos a uno de los elementos consistentes en la parte de referencia y la parte accionada y se apoyan con su otro extremo libre sobre el otro elemento respectivo de entre la parte de referencia y la parte accionada, y en donde las pilas (4) de piezos de pasos están fijadas cada una de ellas con un extremo al mismo elemento de entre la parte de referencia y la parte accionada al cual está fijado también el primer extremo de las pilas (3) de piezos de apriete, y con su otro extremo están unidas al extremo libre de una respectiva pila de piezos de apriete, **caracterizado** porque las pilas de piezos de apriete están apoyadas con un respectivo extremo en un componente "rígido" común y con su otro extremo en una placa de puente (5) que es presio-

nada contra los extremos correspondientes de la pila de piezos de apriete bajo un pretensado de compresión del respectivo elemento consistente en la parte de referencia o la parte accionada y que está construida en forma "semirrígida", significando el diseño "semirrígido" de la placa de puente (5) que ésta se adapta con elasticidad de flexión, en estado estático, a las diferencias de altura de las pilas de piezos de apriete individuales, al menos en el dominio de tolerancias de longitud y de recorridos de expansión de las pilas de piezos de apriete, pero en estado dinámico, a la frecuencia de funcionamiento, se comporta como sustancialmente rígida y sólo cede, como máximo, una fracción de la distancia del piezorrecorrido bajo la presión de pretensado durante la ventana temporal en la que un respectivo grupo de pilas de piezos de apriete está desactivado eléctricamente y sin expandir y el otro grupo de pilas de piezos de apriete está activado eléctricamente y expandido.

2. Accionamiento según la reivindicación 1, en el que la placa de puente (5) "semirrígida" está asociada a la parte de referencia (1) y está elásticamente arriostada en ésta bajo un pretensado de compresión, y los extremos libres de las pilas (3) de piezos de apriete se apoyan sobre la parte accionada (2) configurada como un componente "rígido".

3. Uso de un accionamiento piezoeléctrico según una de las reivindicaciones 1 o 2 como accionamiento para cargas pesadas, por ejemplo como accionamiento de ruedas individuales de vehículos blindados.

35

40

45

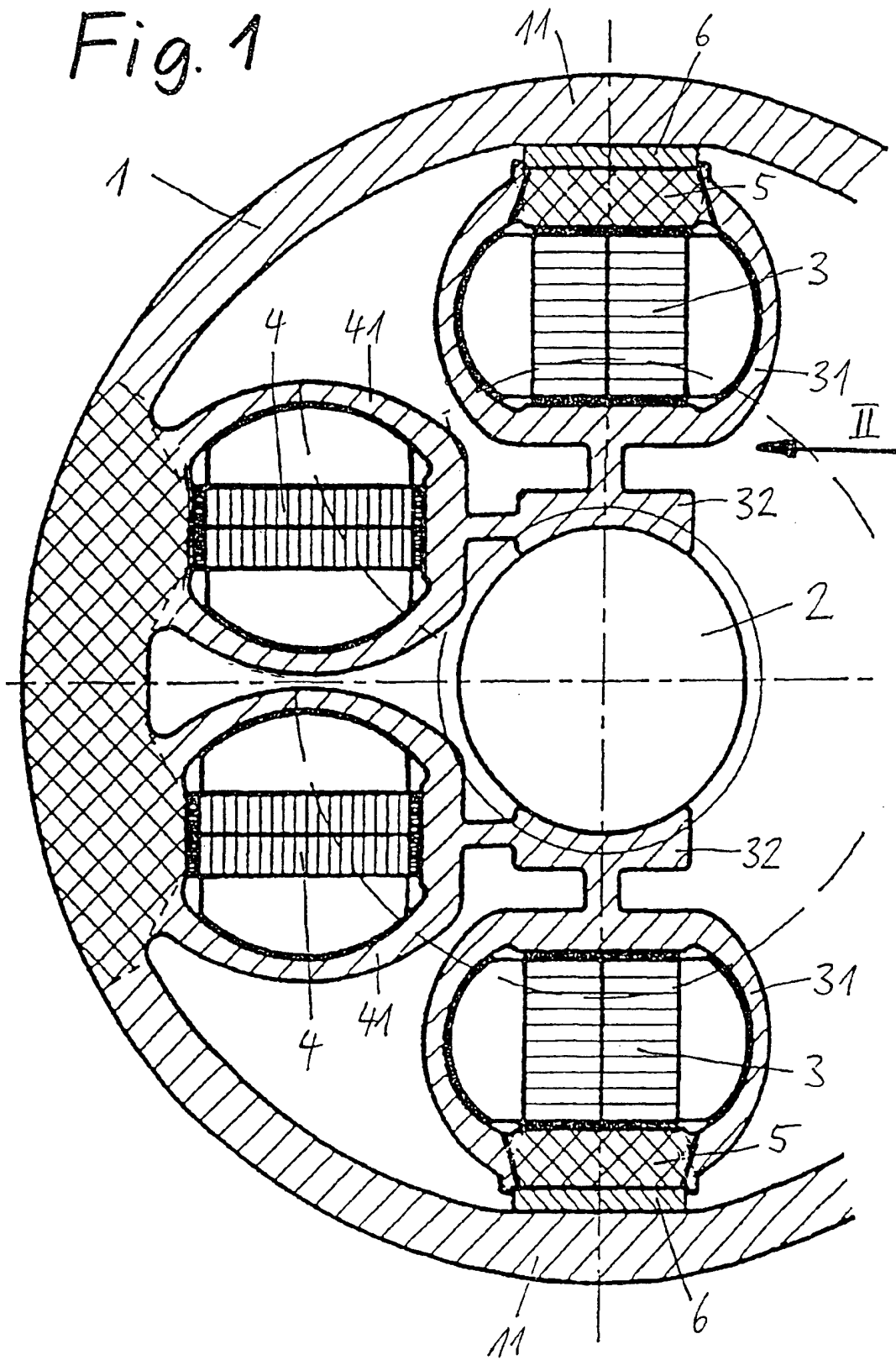
50

55

60

65

Fig. 1



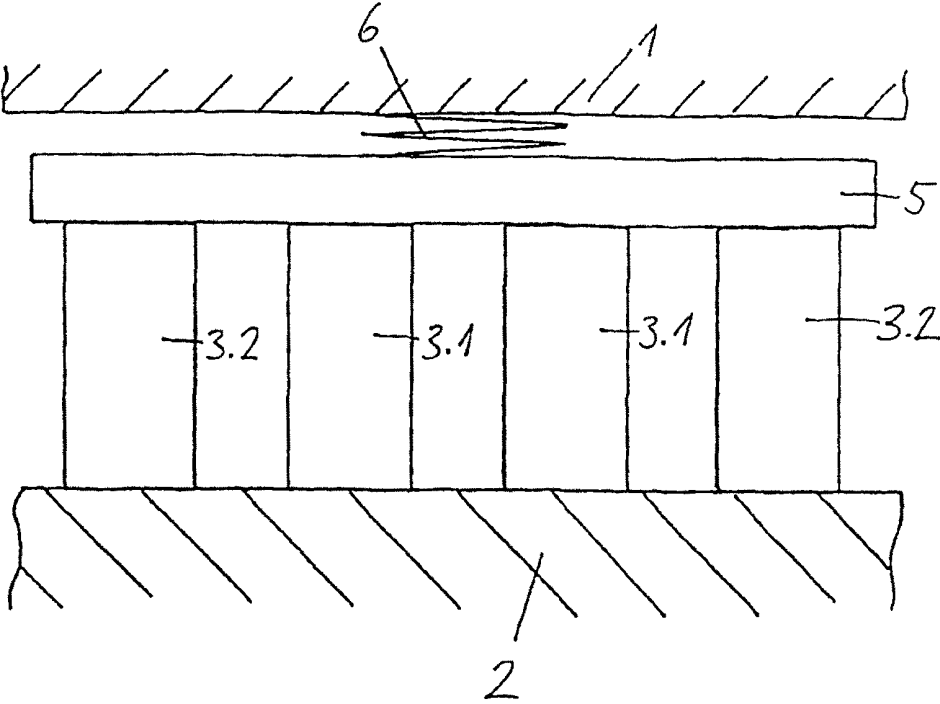


Fig. 2

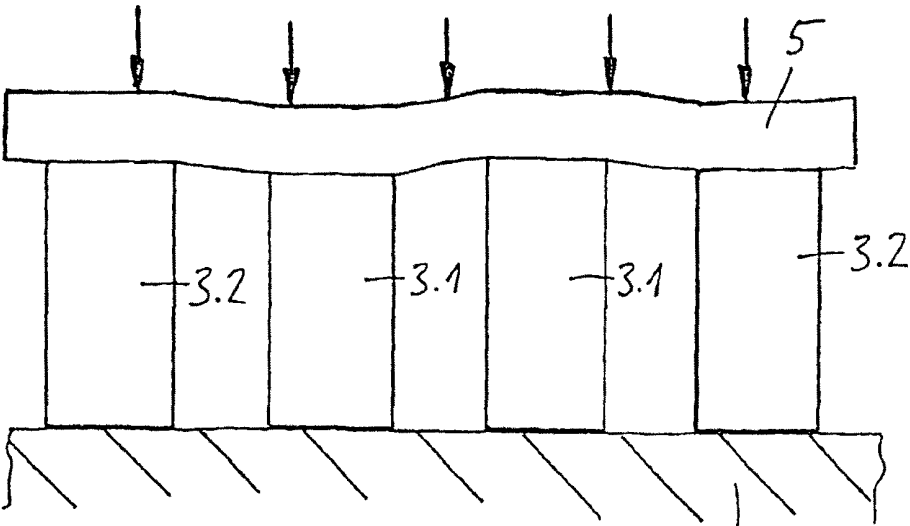


Fig. 3

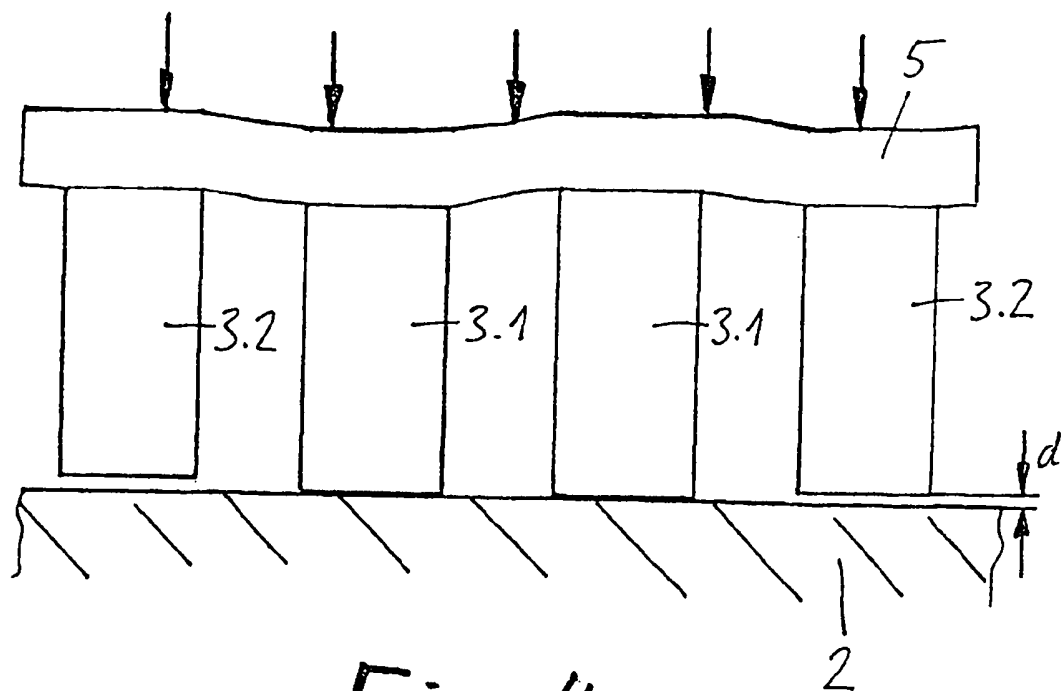


Fig. 4

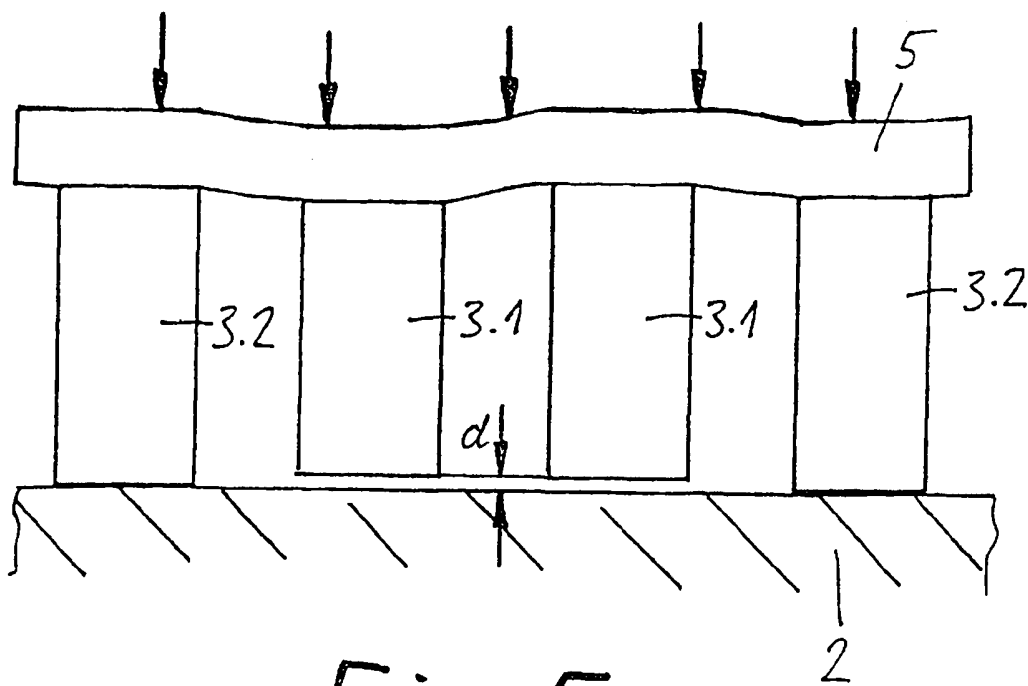


Fig. 5