



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 177 428**

⑫ Número de solicitud: 200002773

⑤① Int. Cl.⁷: **H02K 41/03**

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫② Fecha de presentación: **20.11.2000**

⑫③ Fecha de publicación de la solicitud: **01.12.2002**

Fecha de la concesión: **30.04.2004**

⑫⑤ Fecha de anuncio de la concesión: **01.06.2004**

⑫⑤ Fecha de publicación del folleto de la patente:
01.06.2004

⑦③ Titular/es: **INSTITUTO CIENTÍFICO Y
TECNOLÓGICO DE GUIPÚZCOA, S.A.**
Paseo Manuel de Lardizábal 13
20018 San Sebastián, Guipúzcoa, ES

⑦② Inventor/es: **García Rico, Andrés;**
Florez Esnal, Julián y
Atencia Fernández, Javier

⑦④ Agente: **Díez de Rivera de Elzaburu, Alfonso**

⑤④ Título: **Motor lineal con eliminación de fuerzas de reluctancia.**

⑤⑦ Resumen:

Motor lineal con eliminación de fuerzas de reluctancia.

La invención consiste en un motor lineal en el que los extremos del núcleo dentado del primario están conformados de manera que, sin perturbar apenas el flujo magnético de la máquina, se eliminan componentes múltiples armónicos de la fuerza de reluctancia.

Los últimos dientes del núcleo se complementan con unas expansiones de forma prismático-rectangular o prismático-trapezoidal, dimensionadas para actuar sobre los distintos componentes de la fuerza de reluctancia.

Se mejora con ello la dinámica de operación del motor lográndose máquinas de mayor precisión.

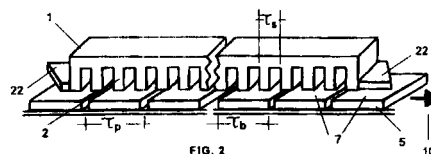


FIG. 2

ES 2 177 428 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

DESCRIPCION

Motor lineal con eliminación de fuerzas de reluctancia.

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un motor lineal construido de manera que se reduzcan sustancialmente diversas componentes de la fuerza de reluctancia.

Antecedentes de la invención

Cuando los motores lineales trabajan alimentados eléctricamente, las diversas componentes armónicas de la fuerza de reluctancia constituyen una fracción de la fuerza total que actúa entre la parte de hierro que aloja los bobinados y los imanes permanentes.

Estas componentes armónicas de la fuerza de reluctancia suelen ser importantes en magnitud. Provocan fuertes irregularidades en la fuerza total, por lo que su reducción contribuirá a mejorar la dinámica de operación de la máquina eléctrica síncrona lineal.

Se conocen soluciones parciales a esa problemática, como la descrita en la patente europea 0 784 883 pero son necesarias mayores reducciones para lograr máquinas de mejor precisión.

Sumario de la invención

La invención consiste en conformar los extremos del núcleo dentado del primario de manera que, sin perturbar apenas el flujo magnético de la máquina, se eliminen componentes múltiples armónicos de la fuerza de reluctancia que pueden ser de valores elevados.

Ello se logra complementando los últimos dientes del núcleo con unas expansiones dimensionadas para actuar sobre los distintos componentes de la fuerza de reluctancia.

Una primera corrección consiste en buscar la longitud de núcleo ideal que conduce a la reducción del primer armónico de la fuerza de reluctancia. Esa longitud ha de ser un múltiplo impar de la mitad del paso polar, τ_p , originándose una configuración de la expansión de forma prismático-rectangular.

Para la reducción del primer y tercer armónicos, otra corrección adicional consiste en dar unos cortes en bisel en los extremos libres de las expansiones prismático-rectangulares, lo que viene a ser equivalente a considerar unas formas acunadas en los extremos del núcleo.

Combinando ambas correcciones se origina una expansión prismático-trapezoidal que logra una mayor reducción de los valores de los armónicos. Para ello el primario deberá tener una longitud de núcleo ideal de magnitud suficiente para que sea posible adoptar, la configuración señalada que puede verse como una cuña combinada con el alargamiento del núcleo.

Las expansiones mencionadas pueden ser colocadas con la misma alineación que los dientes, o ligeramente elevadas con respecto a las cabezas de los dientes y se generarán, bien por corte adecuado de los finales de las chapas, cuando el núcleo sea de chapas apiladas; bien por moldeado, mecanizado, u otro procedimiento válido, cuando se parta de un núcleo macizo; bien por simple pegado, u otra sujeción en los extremos de los núcleos dentados.

La invención es aplicable a máquinas de cualquier número de pares de polos y sea cual sea la parte móvil. También lo es en el caso de utilizar campos creados en los polos mediante corrientes en lugar de imanes permanentes.

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la siguiente descripción detallada en relación con los dibujos que se acompañan.

Descripción de las figuras

La Figura 1a es una vista esquemática en perspectiva de un motor lineal conocido en la técnica y la Figura 1b es una vista esquemática en planta. La Fig. 1c ilustra las fuerzas de reluctancia en ese motor.

La Figura 2 es una vista esquemática en perspectiva de un motor lineal según la invención.

La Figuras 3a y 3b son vistas esquemáticas en planta del núcleo ranurado según la invención con, respectivamente, una expansión prismático-rectangular y una expansión prismático-trapezoidal.

La Figura 4 es una vista esquemática en perspectiva del motor lineal según la invención para ilustrar el dimensionamiento de la expansión prismático-rectangular.

Las Figuras 5 y 6 son vistas esquemáticas en planta del motor lineal de la invención para ilustrar el dimensionamiento de la expansión prismático-trapezoidal.

Las Figuras 7a y 7b son vistas esquemáticas de variantes constructivas de realización del motor lineal según la invención.

Descripción detallada de la invención

Las Figuras 1a y 1b representan la construcción habitual de los motores lineales conocidos en la técnica en la que puede observarse un primario 1 construido a base de material ferromagnético, con un núcleo ranurado 2 sobre el que se sitúan los bobinados 3 (representados sólo en la figura 1b), de cualquier número de fases, y un secundario 5 formado por una banda de material magnético 6 sobre la que se asientan un conjunto de imanes prismáticos 7 de polaridades alternadas, separadas ambas partes entre sí por un entrehierro.

Como es bien conocido en la técnica, el núcleo ranurado 2 y los imanes 7 pueden situarse bien perpendicularmente a la dirección del movimiento 10, bien con una cierta inclinación respecto a ella. En las Figuras 1a y 1b se ha representado un motor lineal en el que el núcleo ranurado 2 y los imanes 7 están dispuestos en dirección perpendicular a la dirección del movimiento 10.

También son conocidos en la técnica motores lineales que, en lugar de imanes, utilizan expansiones polares con excitación convencional usando bobinas recorridas por corrientes.

El propósito de la invención es eliminar, las fuerzas de reluctancia que se desarrollen en la máquina, de modo que empujada en sentido horizontal no puedan apreciarse variaciones u oscilaciones en la fuerza resistente. Para esto hay que neutralizar fuerzas de reluctancia de distintas clases.

En primer lugar, las debidas a la acción de los imanes sobre los dientes. Si intentamos desplazar el primario aparece una fuerza que intenta llevarlo a una posición de equilibrio en la que las líneas de campo recorran el menor espacio de aire posible. Asimismo, al ir desplazando la máquina, se repiten cíclicamente posiciones semejantes. Se trata pues de una fuerza periódica y alternante con la posición relativa entre primario y secundario que hace que la máquina se mueva a saltos.

En segundo lugar, existen fuerzas de reluctancia debidas a la falta de simetría cilíndrica. El hierro primario tiene una longitud determinada y unas caras extremas que pueden ocupar diferentes posiciones relativas con respecto a los imanes alineados. Como los imanes también provocan fuerzas sobre los extremos del hierro primario y estas fuerzas variarán con la posición relativa entre hierro primario e imanes, se tendrá otra fuerza periódica que es función de la posición que vaya adoptando el primario en el desplazamiento. Estas curvas de variación periódica lo harán con una periodicidad que estará determinada por la longitud del paso polar τ_p .

Finalmente, existen fuerzas de reluctancia debidas a interacciones entre diversas partes que no es posible presentar con tanta sencillez como las anteriores.

En la Fig. 1c se representan las variaciones de las fuerzas de reluctancia en función de la posición relativa entre primario e imanes en una máquina lineal, obtenidas teóricamente usando métodos de elementos finitos y medidas experimentalmente (diferentes según el sentido en el que se mueva la máquina).

La presente invención propone conseguir una eliminación sustancial de las fuerzas de reluctancia añadiendo a los extremos del núcleo ranurado 2, y según se observa en la Figura 2, unas expansiones prismático -trapezoidales 22.

A los efectos de su actuación sobre las fuerzas de reluctancia, y según se ilustra en las Figs. 3a y 3b, las expansiones prismático-trapezoidales 22 pueden considerarse como unas expansiones prismático-rectangulares 20 de longitud L_2 a las que se les aplican las correcciones en bisel 21 de longitud extrema

L₃.

Las expansiones prismático-rectangulares 20 serían, lógicamente, casos particulares de las expansiones prismático-trapezoidales 22, menos eficaces pero más sencillas de aplicar.

5

Expondremos en primer término el dimensionamiento de dichas expansiones para el caso de que el núcleo ranurado 2 esté construido con ranuras perpendiculares al movimiento.

10 Las expansiones prismático-rectangulares 20 se dimensionan de manera que la longitud total L' del núcleo ranurado 2, siendo, lógicamente, $L' = L_1 + 2 \cdot L_2$, sea la apropiada de cara a la eliminación del primer armónico de la fuerza de reluctancia.

15 Los solicitantes de la invención han encontrado a ese efecto que, como se ilustra en la fig. 4, el primario 1, de longitud L₁, debería ser complementada con dos elementos férricos sin ranurar 20, de longitud L₂, de manera que la longitud total L' sea igual a la longitud que debería tener una pieza prismática maciza 31 que situada sobre los imanes 7, estuviese exenta de la primera componente de la fuerza de reluctancia ejercida por ellos. Esta longitud, L' del primario ha de ser un múltiplo impar del paso polar τ_p .

La longitud ideal del primario ha de cumplir que:

20

$L' = L_1 + 2L_2 = (n/2) \tau_p$, siendo $n = 1, 3, 5, 7, \dots$, es decir, un número impar, y τ_p el paso polar.

Por consiguiente, las longitudes L₂ a añadir se calcularían de acuerdo con la siguiente fórmula:

25

$$L_2 = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{n}{2} \right) \tau_p - L_1 \right]. \text{ Aplicable siempre que: } \frac{n}{2} \tau_p \leq L_1.$$

Estos alargamientos, L₂, del primario se pueden conseguir adjuntando piezas que incrementen adecuadamente su longitud, como veremos con más detalle más adelante.

30

Las expansiones prismático-trapezoidales finales se dimensionan como una corrección a las prismático-rectangulares mediante el bisel 21, de longitud extrema L₃, de manera que se consiga obtener una segunda reducción del primer armónico de la fuerza de reluctancia.

35

Si, siguiendo la Figura 5, la inclinación adoptada para colocar los imanes 7 respecto al extremo del primario 1 se define por la longitud I, las longitudes L₃, a un lado y otro del punto P, extremo centrado del núcleo corregido 2, cumplirán la ecuación $2L_3 + I = \tau_p$, por tanto: $L_3 = \frac{\tau_p - I}{2}$.

40

Cuando la dimensión I que define la inclinación que se haya adoptado para los imanes se tome igual a un paso de ranura, τ_s , se cumplirá que $L_3 = \frac{\tau_p - \tau_s}{2}$.

45

Si, además, se construye el primario tomando tres ranuras por paso polar, como resulta preferible para contribuir más a la reducción de la fuerza de reluctancia, resultará que $\tau_p = 3\tau_s$ por lo que $L_3 = \frac{3\tau_s - \tau_s}{2} = \tau_s$.

Deberá cumplirse siempre que $L_2 \geq L_3$, para que sea viable el bisel 21.

50

Pasamos ahora a exponer, siguiendo la Fig. 6, el dimensionamiento de las expansiones en el caso de que el núcleo ranurado 2 presente cualquier inclinación, dada por X, con respecto a la dirección del movimiento y los imanes 7 tengan una inclinación cualquiera dada por I.

Se determinará la longitud ideal mediante la ecuación:

55

$$L' = L_1 + 2L_2 = \frac{n}{2} \tau_p \quad n = 1, 3, 5, 7, \dots$$

Por su parte, se determinará L₃ como

60

$$L_3 = \frac{\tau_p - I}{2}, \text{ ya que } 2L_3 + I = \tau_p.$$

Obsérvese que en las ecuaciones anteriores no influye la inclinación de las ranuras X, pero la construcción será posible siempre que se cumpla la condición de que $L_2 \geq L_3 - \frac{X}{2}$, ya que de otro modo L_2 no sería de longitud suficiente para garantizar la existencia de la cota L_3 .

Estas medidas correctoras no sólo afectan a la reducción de los primeros armónicos, sino que también contribuyen a disminuir los demás armónicos de la fuerza de reluctancia.

En cuanto a la manera de realizar el primario 1 con las expansiones prismático-rectangulares 20 o prismático -trapezoidales 22 se contemplan las siguientes posibilidades: corte adecuado de los finales de las chapas apiladas que constituyen el núcleo; moldeado, mecanizado, u otro procedimiento posible, cuando se trate de un núcleo macizo; pegado u otro tipo de sujeción de las expansiones al núcleo.

Seguidamente indicamos las opciones preferentes para la realización de un motor lineal según la invención.

Ha de elegirse la longitud del arco polar de la máquina τ_b idónea para minimizar las componentes armónicas de la fuerza de reluctancia; su valor es muy importante porque acaba condicionando la separación entre imanes. Según los análisis realizados por los inventores, la dimensión óptima de la anchura de los imanes se determinará como $\tau_b = 3/4 \tau_p (1 \pm \varepsilon)$ donde $\varepsilon \leq 0,1$.

Se prefiere un núcleo con ranuras perpendiculares a la dirección del movimiento e imanes inclinados en un paso de ranura, τ_s . No se debe recurrir a la inclinación de ranuras, sino a la inclinación de los imanes, por ser la solución más cómoda y económica. Inclinando los imanes se consigue hacer progresivamente creciente la forma de la onda de densidad de campo magnético B que cortará a los conductores del primario cuando éste se mueva; si los imanes fuesen paralelos a las ranuras, la forma de esa onda sería de frente de onda recto. Inclinando los imanes, o las ranuras, esa onda deslizante rectangular de frente recto pasará a ser otra más trapezoidal y las tensiones inducidas en el bobinado tendrán un menor contenido de armónicos. Por todo ello se prefiere un primario construido con ranuras perpendiculares a la dirección del movimiento, es el procedimiento constructivo más favorable, y recurrir a inclinar los imanes respecto a la dirección del movimiento si son de sección rectangular, o utilizar directamente imanes de planta romboidal, con una inclinación de, igualmente, un paso de ranura τ_s .

Con vistas a la eliminación del armónico de orden tres de las fuerzas de reluctancia resulta conveniente hacer una elección del número de ranuras y dientes para cada paso polar de multiplicidad tres en ambos casos, si no hay otras causas que lo impidan.

En los prototipos finales, construidos y ensayados por los inventores se han seguido los criterios preferentes expuestos anteriormente y la repercusión de aplicar todas esas medidas sobre las magnitudes de los diferentes armónicos componentes de la fuerza de reluctancia, con respecto a los obtenidos en la máquina sin corregir, se presentan en las siguientes Tablas 1, y 2.

TABLA 1

	Fuerza de reluctancia (N)		
	inicial	actual	reducción
valor máximo	27,71	4,92	82,20 %
1° armónico	26,69	3,17	88,10 %
3° armónico	5,2	0,72	86,10 %

Magnitudes del valor máximo y de los coeficientes de los dos primeros componentes armónicos de la fuerza de reluctancia, usando imanes rectos. Valores obtenidos aplicando conjuntamente las medidas correctoras a prototipos de máquina lineal síncrona. Porcentajes de reducción.

TABLA 2

Orden	Conf. 0	Conf. 3
1	22,5382	3,1728
2	3,6265	1,3188
3	0,8415	0,7256
4	0,9843	0,4416
5	0,7592	0,0859
6	0,5164	0,2142
7	0,9285	0,3091
8	0,481	0,2752,
9	0,5554	0,1671
10	0,7273	0,0799

Magnitudes de los coeficientes de los diferentes componentes armónicos de la fuerza de reluctancia, usando imanes inclinados conf. 0, y magnitudes obtenidas aplicando conjuntamente simultáneamente las medidas correctoras a prototipos de máquina lineal síncrona.

En el motor lineal según la invención pueden considerarse medidas adicionales complementarias si se quisiera evitar distorsiones del campo magnético en los últimos dientes del primario que abordaremos seguidamente en relación a las Figuras 7a y 7b.

Cuando el primario 1 se excita con corriente, la fuerza total será la debida a la excitación eléctrica más la fuerza de reluctancia: el comportamiento electromagnético del último diente 15, 15' se puede ver distorsionado debido al hecho de que las expansiones 22 hacen variar ligeramente la densidad del campo magnético en ese último diente respecto a la que tendría el primario 1 sin ellas.

En la Figura 7a se muestra una forma evitarlo: situar las expansiones 22 a una altura diferente a la de las cabezas de los dientes. En la Figura 7b se muestra otra solución: colocar entre el primario 1 y las expansiones prismáticas 22 una o varias chapas 19 de acero al silicio de grano orientado y de espesor menor o igual que 0,35 mm., colocadas de tal modo que la dirección de orientación del grano coincida con la dirección ortogonal a la de desplazamiento de la máquina.

Se considera que una de las ventajas de la invención es lograr una reducción importante de las fuerzas de reluctancia con una modificación constructiva sencilla de la forma geométrica de los extremos de los núcleos del primario. Aunque se ha descrito y representado una realización de la invención, es evidente que pueden introducirse en ella modificaciones comprendidas dentro del alcance de la misma, no debiendo considerarse limitado éste a dicha realización, sino al contenido de las reivindicaciones siguientes:

REIVINDICACIONES

1. Motor lineal formado por un primario (1) con un núcleo ranurado (2) de longitud L_1 , inclinado en una longitud X respecto a la dirección del movimiento (10) y un secundario (5) con un conjunto de imanes prismáticos (7) inclinados en una longitud I respecto a la dirección del movimiento, **caracterizado** porque se añaden a los extremos del núcleo ranurado (2) unas expansiones prismático trapezoidales (22) de una longitud media L_2 determinada por la fórmula $L_2 = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{n}{2} \right) \tau_p - L_1 \right]$, siendo τ_p el paso polar y n un número impar, con un bisel (21) de una longitud L_3 determinada por la fórmula $L_3 = \frac{\tau_p - I}{2}$, siendo $L_2 \geq L_3 - \frac{X}{2}$.
2. Motor lineal según la reivindicación 1 **caracterizado** porque las mencionadas expansiones (22) carecen de bisel y tienen forma prismático-rectangular (20).
3. Motor lineal según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado** porque las ranuras del núcleo (2) están dispuestas perpendicularmente a la dirección de movimiento (10) y Los imanes (7) están inclinados respecto a la dirección del movimiento (10) un paso de ranura τ_s , teniendo una anchura $\tau_b = 3/4 \tau_p (1 \pm \varepsilon)$ donde $\varepsilon \leq 0,1$.
4. Motor lineal según la reivindicación 3 **caracterizado** porque $\tau_p = 3\tau_s$.
5. Motor lineal según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado** porque la cara inferior de las mencionadas expansiones (22) está situada a la misma altura de la cara inferior del núcleo ranurado (2).
6. Motor lineal según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 **caracterizado** porque la cara inferior de las mencionadas expansiones (22) está situada por encima de la cara inferior del núcleo ranurado (2).
7. Motor lineal según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizado** porque las mencionadas expansiones (22) se forman cortando apropiadamente las partes finales chapas apiladas con las que se construye el primario (1).
8. Motor lineal según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 **caracterizado** porque las mencionadas expansiones (22) se forman por moldeado o mecanizado del núcleo macizo a partir del cual se construye el primario (1).
9. Motor lineal según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 **caracterizado** porque las mencionadas expansiones (22) se adosan al núcleo ranurado (2) mediante pegado o mediante la utilización de medios mecánicos de sujeción.
10. Motor lineal según la reivindicación anterior **caracterizado** porque entre el primario (1) y las expansiones prismáticas (22) se colocan una o varias chapas de acero al silicio de grano orientado y de espesor menor o igual que 0,35 mm. situadas de tal modo que la dirección de orientación del grano coincida con la dirección ortogonal a la de desplazamiento de la máquina.

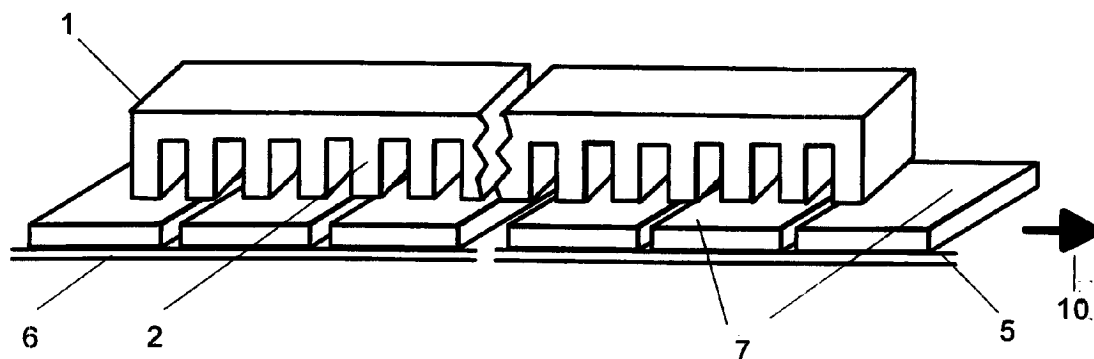


FIG. 1a

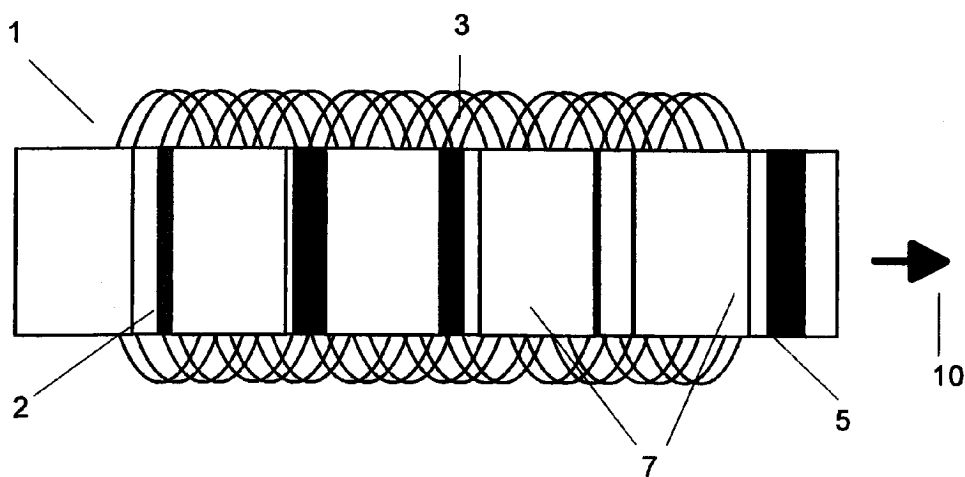


FIG. 1b

Comparación COSMOS / ensayos experimentales

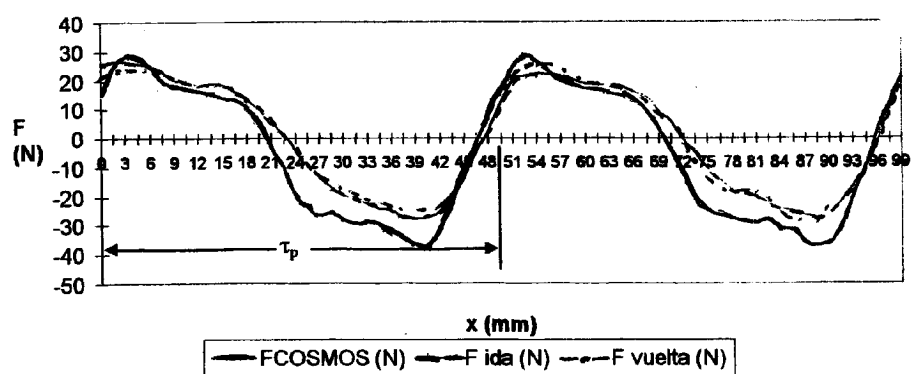
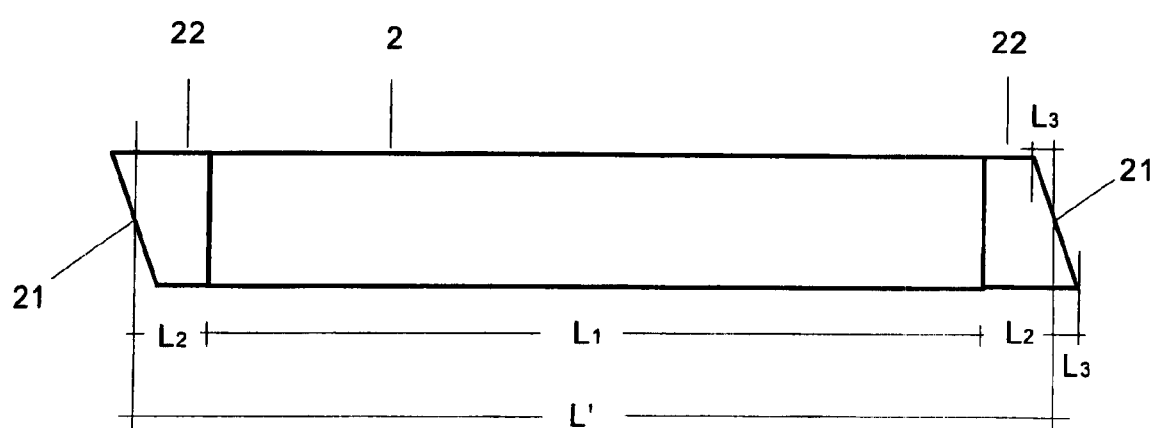
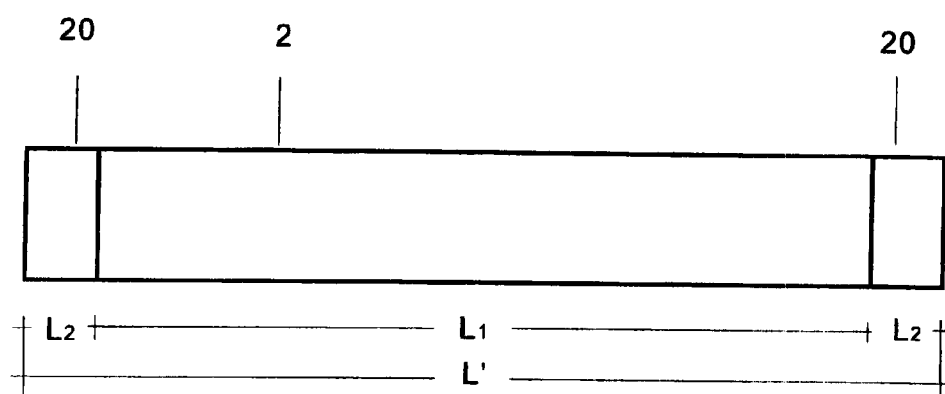
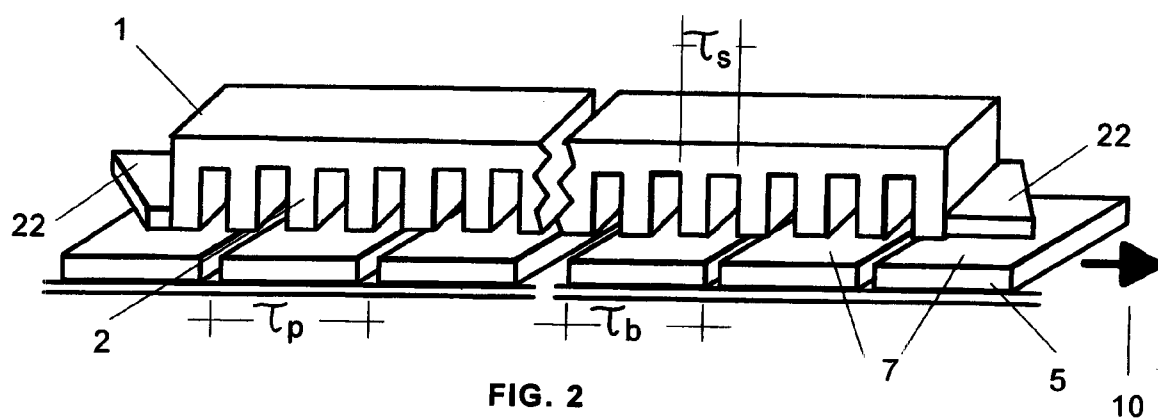
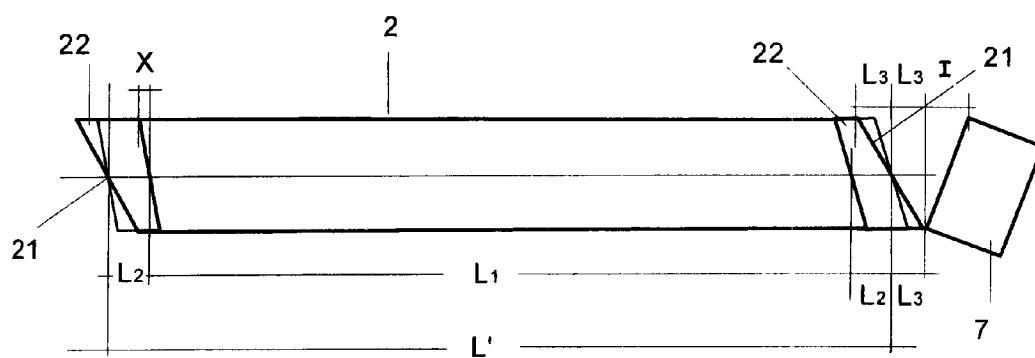
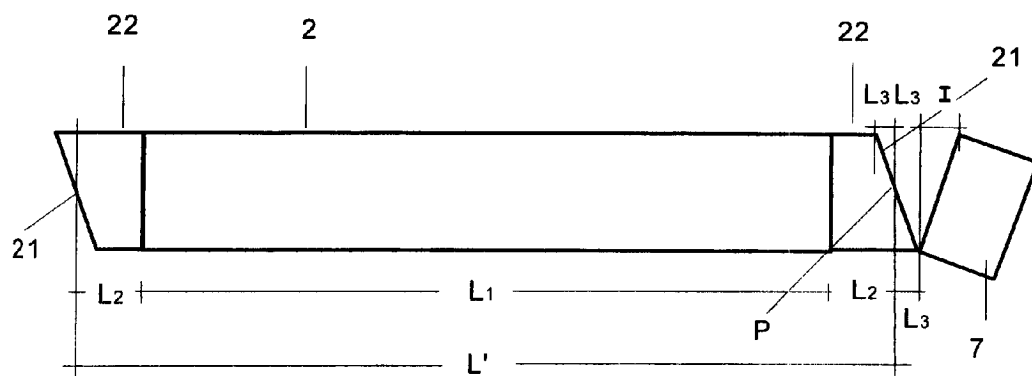
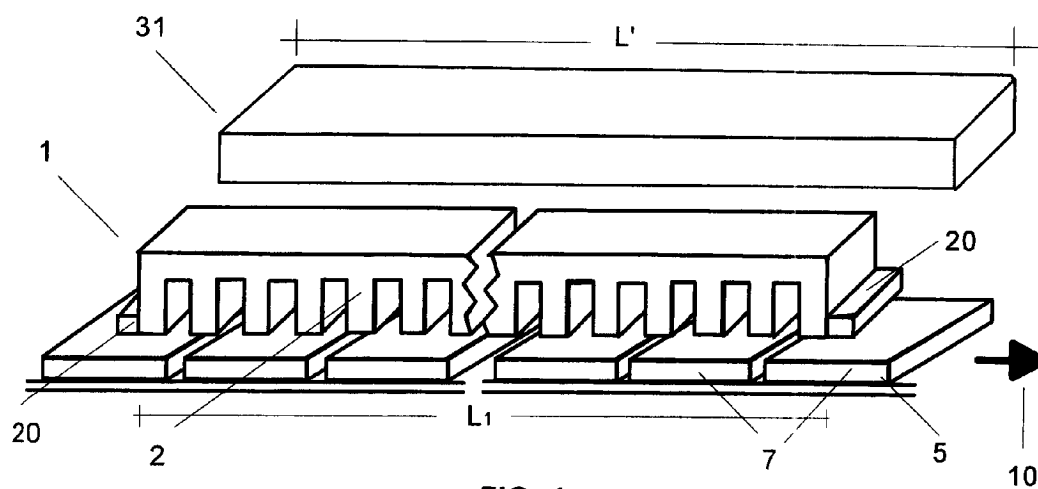
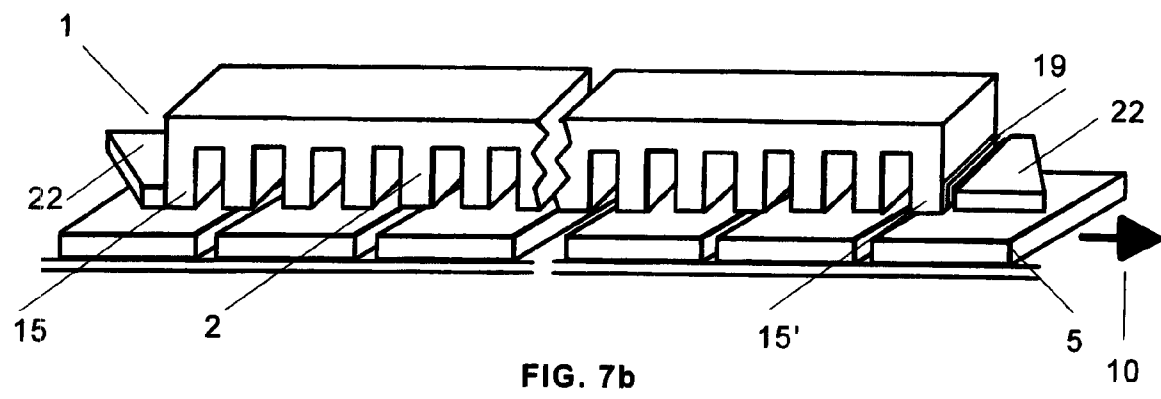
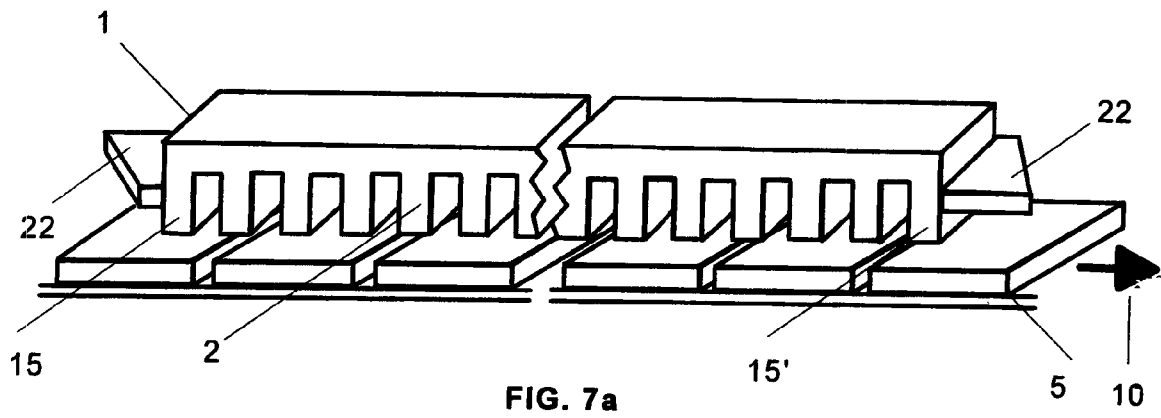


FIG. 1c









OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 177 428

⑫ Nº de solicitud: 200002773

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 20.11.2000

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.7: H02K 41/03

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	ES 2143207 A (SIEMENS LINEAR MOTOR) 01.05.2000, columna 4, líneas 14-58.	1-10
A	EP 1043830 A (SEW-EURODRIVE GMBH & CO) 11.10.2000, resumen; figuras 1-3.	1-10
A	EP 334645 A (SHARP KABUSHIKI KAISHA) 27.09.1989, columna 5, línea 15 - columna 6, línea 25; figuras 2A,2B.	1-10

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

24.11.2002

Examinador

L. García Aparicio

Página

1/1