(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 812 526**

(51) Int. CI.:

H01F 7/121 (2006.01)
H01F 7/16 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.10.2013 PCT/DE2013/100352**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **17.04.2014 WO14056487**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.10.2013 E 13823926 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2020 EP 2907146**

(54) Título: **Accionamiento lineal electromagnético altamente dinámico escalable con carrera limitada y fuerzas transversales bajas**

(30) Prioridad:

12.10.2012 DE 102012020041

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.03.2021

(73) Titular/es:

RHEFOR GBR (100.0%)
Nelkenstr. 3
12203 Berlin, DE

(72) Inventor/es:

MECKLENBURG, ARNO

(74) Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

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 lineal electromagnético altamente dinámico escalable con carrera limitada y fuerzas transversales bajas

Área técnica

La presente invención hace referencia al campo de los actuadores lineales electromagnéticos, por ejemplo, para la tensión y la retención de resortes en accionamientos con mecanismo de resortes.

Fundamento

Por la solicitud DE202011050847U1 se conoce un actuador lineal que comprende un bastidor (estator) que está compuesto al menos parcialmente de material magnético blando; un inducido que está compuesto al menos parcialmente de material magnético blando y que está montada en el marco de tal manera que el inducido se puede mover a lo largo de un eje longitudinal con respecto al marco. El inducido y el marco están diseñados de tal manera que se presenta un espacio entre el inducido y el marco a lo largo del eje longitudinal en una posición abierta y el inducido y el marco descansan uno contra el otro en una posición cerrada, de modo que el espacio está cerrado. Una primera bobina de inducido está conectada con el inducido de tal manera que una fuerza que actúa sobre la primera bobina de inducido se puede transmitir al inducido. El actuador lineal comprende además medios para la generación de un campo magnético de excitación que es conducido al menos parcialmente a través del marco y del inducido y dirigido de tal manera que sobre la primera bobina de inducido actúa una fuerza, cuando la misma está alimentada eléctricamente, que se transmite al inducido para cerrar el espacio. El bastidor, el inducido y el campo magnético de excitación están diseñados en este caso de tal manera que cuando el espacio está cerrado, entre el bastidor y el inducido actúa una fuerza de retención.

El estator y el inducido del actuador lineal conocido por la solicitud DE202011050847U1 están construidos para ser de simetría rotacional alrededor del eje de movimiento del inducido. En el ejemplo de ejecución mostrado en la figura 7 de este documento, se proporcionan tres bobinas de inducido y tres bobinas de estator. Las bobinas de inducido están dispuestas en ranuras anulares en el exterior del inducido, las bobinas de estator, en ranuras anulares en el lado interno del estator. El inducido y el estator están compuestos de material magnético blando con la mayor polarización de saturación posible y la mayor permeabilidad relativa posible.

En la publicación DE 10 201 1 080 065 A1 se revela un accionamiento electromagnético que resulta adecuado para accionar dispositivos de conmutación eléctricos. Los accionamientos según la publicación DE 10 201 1 080 065 A1 consisten en electroimanes, cuyos inducidos se pueden accionar adicionalmente electrodinámicamente, en particular, en las proximidades de la posición de inicio de carrera, es decir, cuando el entrehierro de trabajo está completamente abierto. Esto se consigue con la ayuda de al menos una bobina que está conectada mecánicamente con el inducido y sobre la cual se ejerce una fuerza a través de la interacción de un campo de excitación magnética con su corriente eléctrica, la cual se puede transmitir al inducido y moverlo en la dirección de su posición final de carrera (entrehierro de trabajo cerrado).

La publicación DE 10 201 1 080 065 A1 da a conocer varios ejemplos de ejecución, de los cuales son particularmente adecuados para el accionamiento de dispositivos de conmutación eléctricos aquellos que presentan bobinas (de capa delgada) dispuestas coaxialmente unidas por pares en el bastidor y el inducido. En la publicación DE 10 201 1 080 065 A1, dichas bobinas fijadas al bastidor se denominan como "bobinas de soporte" y las bobinas asociadas que accionan adicionalmente el inducido se denominan como "bobinas de empuje" (allí, las bobinas de empuje se enrollan por lo general en ranuras que rodean el inducido). Las bobinas de empuje y soporte están dispuestas coaxialmente; en donde la bobina de empuje se hunde parcialmente en la bobina de soporte en la posición de carrera inicial. Cuando dichas bobinas de empuje y de soporte se alimentan eléctricamente en direcciones opuestas, entonces se produce una interacción repulsiva entre ellas, que además acciona el inducido.

Es característico de las disposiciones descritas que, bajo ciertas condiciones, se puedan representar fuerzas específicas de volumen muy grandes, mientras que al mismo tiempo la inductancia (por ejemplo, una conexión en serie de ambas bobinas) puede ser muy pequeña en comparación con los electroimanes convencionales. Con una amortiguación suficiente de las corrientes de Foucault en el bastidor y el inducido, se pueden lograr tasas de incremento de fuerza extraordinariamente altas.

Los ejemplos de ejecución conocidos previamente a partir de la publicación DE 10 2011 080 065 A1 presentan, sin embargo, dos desventajas: una escalabilidad deficiente y grandes fuerzas transversales sobre el inducido. En este contexto, "escalabilidad deficiente" significa sobre todo que la masa del inducido aumenta significativamente cuando los accionamientos están diseñados para crecientes fuerzas máximas, carreras y, en particular, fuerzas de retención (contra, por ejemplo, un resorte de retorno). La masa del inducido asciende aproximadamente de forma cuadrática con la fuerza de retención nominal deseada. Esto hace que los accionamientos según los ejemplos de ejecución

mostrados en la solicitud DE 10 2011 080 065 A1 sean menos adecuados para sustituir los accionamientos por resorte convencionales, por ejemplo, en grandes interruptores de potencia de alta tensión. Los ejemplos de ejecución mencionados previamente también muestran grandes fuerzas transversales (máximas) durante el funcionamiento que, como resultado de inexactitudes de fabricación inevitables y de deformaciones (elásticas), etc., actúan sobre el inducido y cargan fuertemente sus cojinetes.

Por lo expuesto, el objeto de la presente invención consiste en hallar una disposición que presente mejor escalabilidad y que presente fuerzas transversales mucho menores que los accionamientos conocidos previamente por la publicación DE 10 2011 080 065 A1.

Resumen

El mencionado objeto se resuelve mediante un accionamiento lineal electromagnético escalable altamente dinámico con carrera limitada según la reivindicación 1.

El inducido y/o los brazos de estator pueden estar compuestos de paquetes laminados o polvos magnéticos blandos unidos por plástico.

"Inducido al menos parcialmente plano" significa aquí que al menos aquella parte del inducido que puede hundirse en el estator, es decir, entre sus brazos, es plana: La distancia entre los brazos del estator y, por tanto, el espacio G en el cual se puede mover el inducido (con los espacios de aire residuales lo más pequeños posibles), es significativamente menor que la profundidad O (ancho) del inducido (y de los brazos, perpendicular al espacio y perpendicular a la dirección del movimiento) y también más pequeño que la extensión del inducido a lo largo de la dirección de movimiento. Por ejemplo, el ancho O del inducido (rectangular) es al menos tres veces mayor que el espacio G, es decir, que la distancia normal entre los brazos del estator. De acuerdo con un ejemplo de ejecución, el ancho O es al menos cinco veces, en particular, al menos diez veces mayor que el espacio G.

Las "bobinas planas" conforme a la invención son planas porque su longitud L (a lo largo del eje de la bobina) es en cada caso mucho menor que su diámetro externo más pequeño. "Gran altura de bobinado" significa en este contexto que la altura de la ventana de bobinado H (a lo largo de la dirección del movimiento) es tanto del orden de magnitud de la carrera (nominal) S como del orden de magnitud de la expansión K de los núcleos de bobina magnéticos blandos a lo largo de la dirección del movimiento, por ejemplo, H = 2/3 * S. Una "ventana de bobinado" es aquella área de la bobina que está llena de cobre en el funcionamiento y a través de la cual fluye la corriente eléctrica durante el funcionamiento. Por tanto, una bobina construida simétricamente presenta dos ventanas de bobinado de igual longitud, a una distancia (normal con respecto al eje de la bobina) que corresponde al ancho K del núcleo de la bobina. La dimensión de la ventana de bobinado a lo largo del eje longitudinal (normal al eje de la bobina) del actuador lineal se denomina altura de bobinado H.

Como ya se mencionó, una bobina plana consiste generalmente en una bobina cuya dimensión exterior más pequeña (dos veces la altura de bobinado más la dimensión exterior más pequeña del núcleo) es mayor que su longitud. Según un ejemplo de ejecución, la altura de bobinado H es al menos dos veces mayor que la longitud L de la bobina (a lo largo del eje de bobina). De acuerdo con otro ejemplo de ejecución, la altura de bobinado es al menos tres veces mayor, por ejemplo, al menos cinco veces mayor, que la longitud L de la bobina.

Con respecto a la geometría de todas las partes en las que se presentan densidades de fuerza electromagnética a considerar (partes magnéticas (blandos) y conductoras de corriente eléctrica), el accionamiento está caracterizado por presentar aproximadamente dos planos en espejo (planos de simetría) mutuamente perpendiculares, en paralelo a la dirección del movimiento, cuya línea de intersección (que también corresponde al eje longitudinal) es, por tanto, un eje de rotación de dos puntos que se extiende en paralelo a la dirección del movimiento (El inducido está montado de manera deslizante en los brazos del estator, el inducido y el estator conforman así un cojinete de deslizamiento o están equipados con uno).

De esta condición de simetría resulta que las bobinas de estator se fijan por pares en los brazos del estator: A cada primera bobina plana fijada a un primer brazo corresponde una segunda bobina plana fijada al segundo brazo. Estas bobinas de estator se deben poder alimentar eléctricamente en la misma dirección, comparable a una bobina de Helmholtz; en donde según la invención ambas bobinas pueden generar flujos magnéticos del mismo tamaño posible durante el funcionamiento (lo que se puede lograr de una manera sencilla utilizando bobinas de estator que sean lo más idénticas posible y que estén conectadas eléctricamente en serie). Cuando las bobinas de estator son alimentadas con corriente eléctrica en la misma dirección durante un proceso de conmutación, el flujo magnético emerge del núcleo de una primera bobina del estator (circuito principal), atraviesa transversalmente el inducido plano en el espacio y, eventualmente, la o las bobinas de inducido, y entra en el núcleo de la segunda bobina de estator. (Lo mismo se aplica a la segunda bobina de estator, la división en primera y segunda bobina de estator es arbitraria debido a la condición de simetría). El retorno magnético se produce, a su vez, a través de los brazos y el inducido. Para arrastrar el inducido desde la posición de inicio de carrera a la posición final de carrera (proceso de

conmutación de encendido), la o las bobinas del inducido, que están entre las bobinas de estator, son alimentadas con corriente eléctrica en la dirección opuesta a las bobinas de estator de modo que juntas las mismas generan en lo posible el mismo tamaño de flujo magnético (en términos de cantidad) que las bobinas de estator asociadas. De acuerdo con la invención, la fuente de alimentación está dimensionada de tal manera que el material magnético blando que se encuentra entre el inducido y las bobinas de estator se sature magnéticamente durante un proceso de conmutación de encendido y se pueda conseguir una densidad de flujo localmente que exceda la polarización de saturación del material.

Los brazos de estator y el inducido están diseñados de tal manera que el campo magnético generado por las bobinas de estator y las bobinas de inducido no fluye a través de ningún espacio de aire significativo. En todo caso, un entrehierro muy pequeño podría deberse a imprecisiones de fabricación.

En la posición de inicio de carrera, la o las bobinas de inducido no están dispuestas coaxialmente con las bobinas de estator asociadas, sino más bien desplazadas en la dirección de la posición final de carrera (por ejemplo, a la mitad de una altura de bobinado 0,5 * H). De acuerdo con la invención, todas las bobinas pueden ser alimentadas con corriente eléctrica de tal manera que, en la posición inicial de la carrera, el inducido y la o las bobinas de estator se repelen entre sí a lo largo del eje de movimiento; en donde la fuerza que actúa sobre la o las bobinas de inducido se transmite desde las mismas al inducido y lo arrastra hacia la posición final de carrera. Para el retorno a la posición de inicio de carrera, se puede generar una fuerza de atracción (adicional) activando todas las bobinas de inducido y de estator en la misma dirección.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se explica en detalle a continuación mediante los ejemplos representados en los dibujos. Las representaciones no son necesariamente a escala y la invención no está limitada solamente a los aspectos mostrados. Más bien, se hace hincapié en ilustrar los principios en los que se basa la presente invención. En las figuras se muestra:

Figura 1: un corte longitudinal a través de un actuador lineal según un ejemplo de la presente invención.

Figura 2: una vista en planta del inducido del actuador de la figura 1.

Figura 3: el campo B simulado del actuador según la figura 1 en diferentes estados (diagramas 3a a 3e).

Figura 4: un primer ejemplo de un circuito de excitación con dos tensiones de carga diferentes.

Figura 5: un segundo ejemplo de un circuito de excitación con dos tensiones de carga diferentes.

En las figuras, los mismos componentes o similares con las mismas funciones o similares están provistos de los mismos símbolos de referencia.

Descripción detallada

A continuación, la presente invención se explica en detalle mediante un ejemplo de un accionamiento lineal. La figura 1 muestra un corte longitudinal a través de un ejemplo de un accionamiento. Según el ejemplo representado de la invención, el accionamiento no está diseñado de simetría rotacional. En el ejemplo de realización, el mismo es de sección transversal rectangular. Las superficies sombreadas se deben entender como cortes de chapa; apilando dichas chapas eléctricas se conforma el circuito magnético del accionamiento. A través del diseño de los cortes de chapa resultan ranuras en las cuales se pueden colocar o insertar las bobinas de estator y de inducido, que están diseñadas como bobinas rectangulares muy planas (con "núcleo" rectangular). Las bobinas están al menos encapsuladas y, si es necesario, pueden reforzarse, por ejemplo, con la ayuda de fibras de resistencia a la tracción encapsuladas, las cuales presentan preferentemente un módulo de tracción mayor que el propio alambre eléctrico. El alambre de cobre plano es adecuado como alambre; en cualquier caso, es preferible un alambre perfilado que permita el mayor grado posible de relleno (de cobre). Las siglas "PM" indican imanes permanentes, las flechas en los componentes asociados simbolizan su dirección de polarización. Por tanto, los imanes permanentes (preferentemente neodimio-hierro-boro, NdFeB) se ubican en cavidades que se conforman dando forma a las láminas del estator. En las mismas cavidades se encuentran otras dos bobinas (rectangulares) ("bobinas de retención") que, junto con el PM y la parte posterior del inducido configurada como placa polar, sirven como medio conmutable según la invención para mantener el accionamiento en la posición final de carrera (contra una fuerza de retorno) (en la posición final carrera la distancia es S=0). La división de polos múltiples de este dispositivo de retención permite una reducción significativa de la masa de inducido y, por lo tanto, beneficia la dinámica del accionamiento. Una alimentación eléctrica de las bobinas de retención (excitación) también durante el proceso de conmutación de encendido, es decir, mientras el accionamiento arranca (es decir, cuando la distancia L3 se acota), no sólo puede aumentar la fuerza del accionamiento en la proximidad de la posición final de carrera, sino también

magnetizar el PM y prolongar su vida útil. Los símbolos de referencia entre paréntesis, por ejemplo, la referencia L3 (S) para la carrera, indican en general el respectivo tamaño (por ejemplo, de la carrera S). La referencia por delante de los paréntesis indica un valor específico (por ejemplo, en la posición de inicio de carrera, la carrera S es igual a la longitud L3).

Para desconectar la fuerza de retención (proceso de conmutación de apagado), las bobinas de retención se alimentan eléctricamente en el sentido opuesto (contraexcitación) que en el proceso de conmutación de encendido; en donde ventajosamente se utiliza una corriente menor para un proceso de conmutación de apagado que durante el proceso de conmutación de encendido, lo cual aumenta la vida útil de los imanes permanentes. Para estabilizar mecánicamente el estator (es decir, para evitar grandes momentos de flexión), las láminas individuales del paquete laminado del estator se pueden cortar con menos profundidad en la zona del PM que en las demás, de modo que haya suficiente espacio para la colocación de la bobina, aunque las láminas que de otro modo serían continuas con el resto, dan como resultado cámaras o panales en los cuales se pueden colocar los PM. En el diseño es importante considerar que estas laminaciones continuas de estator conforman cortocircuitos magnéticos. (Estas láminas moldeadas diferentes, que se utilizan para conformar cámaras para el alojamiento de PM, no tienen que estar compuestas total ni parcialmente de material magnético blando, aunque también pueden estar compuestas del mismo material magnético blando que las otras láminas del estator). La retención del estator, el alojamiento del inducido y la transmisión de potencia en la aplicación son tareas rutinarias de ingeniería mecánica. El alojamiento es particularmente sencillo para garantizar que el inducido sólo experimente fuerzas transversales muy reducidas durante el funcionamiento. El conjunto de bobinas de estator y de inducido (S1, S2, A1, A2) puede ser percibido, junto con el circuito magnético, como una versión extrema de una máquina de flujo transversal lineal (que puede trabajar en saturación local profunda). Ciertas relaciones geométricas, así como un diseño adecuado de la fuente de alimentación eléctrica pueden resultar ventajosos para la ejecución de la invención. Además de las relaciones geométricas establecidas en la reivindicación principal, también se aplica lo siguiente al ejemplo de realización: $L << K$ (debido al puente "magnético blando", véase la solicitud DE 10 2011 080 065 A1), $2xL \leq G$ también es ventajoso.

La figura 2 muestra una vista en planta del inducido; en donde la dimensión B2 corresponde a la profundidad estructural del circuito magnético real. En el presente ejemplo, se empaquetan, por ejemplo, 100 láminas eléctricas con un ancho efectivo de 1 mm para conformar un paquete de láminas de B2=100 mm de profundidad; el estator presenta, por ejemplo, la misma profundidad. Aquí se muestra la escalabilidad del accionamiento: La fuerza de retención alcanzable y la fuerza máxima representable del accionamiento son prácticamente lineales con B2 y, por tanto, prácticamente proporcionales a la masa en movimiento del accionamiento. (Para explicar la reivindicación principal: El "inducido plano" se realiza mediante $O >> G$ en el ejemplo de ejecución. Por ejemplo, es $O>3\cdot G$, por ejemplo, $O>5\cdot G$ o $O>10\cdot G$.

Una posible dirección de bobinado de una bobina de inducido (¡plana!) (véase la bobina A1 en la figura 1) está simbolizada por las flechas giratorias. Lo siguiente se aplica como otra indicación de diseño: $2xH + K <O$. Las bobinas planas sobresalen lateralmente del actuador en una longitud B1. En la práctica, la longitud B1 corresponderá a la altura del bobinado H.

El modo de funcionamiento del accionamiento es fácil de comprender utilizando las simulaciones 2D (Figuras 3a, 3b, 3c, 3d, 3e). Está representado el campo B en una simulación estática; cuando la laminación es lo suficientemente fina como para suprimir las corrientes de Foucault, el campo B estático es sin embargo muy similar al del caso transitorio. La longitud de las flechas es logarítmica en aras de la claridad.

Las simulaciones sólo muestran el recorte del accionamiento, que contiene el conjunto de bobinas de inducido y de estator planas según la invención (A1, A2 y S1, S2 en la figura 1), así como el correspondiente circuito magnético. Para la alimentación eléctrica, las bobinas se pueden conectar en serie de tal manera que el estator y las bobinas de inducido se alimenten eléctricamente en direcciones opuestas durante un proceso de conmutación de inducido (apriete del inducido), en donde, por ejemplo, todas las bobinas están construidas de manera idéntica y, en particular, presentan las mismas secciones transversales de alambre y número de espiras. La alimentación eléctrica de las bobinas de estator (S1, S2 en la figura 1) se realiza en el mismo sentido, al igual que la de las bobinas de inducido (A1, A2 en la figura 1); sin embargo, las direcciones de la corriente en las bobinas del estator y del inducido son en direcciones opuestas. En el caso más sencillo, un condensador se descarga con la ayuda de un interruptor, por ejemplo, un interruptor semiconductor, a través de la conexión en serie antes mencionada.

En la figura 3a), en el encendido, el accionamiento presenta inicialmente una inductancia alta, la tasa de aumento de corriente eléctrica es baja, lo que protege el interruptor. En esta fase sólo se produce un leve flujo transversal (es decir, el inducido es atravesado a través del plano de simetría horizontal).

Para la figura 3b), sin embargo, el circuito magnético pronto se satura localmente. Aquí, la disposición actúa (magnéticamente) de forma similar a la de un transformador diferencial, las inductancias de las bobinas de inducido y de estator se neutralizan parcialmente entre sí, la autoinducción del circuito en serie colapsa. Esto provoca un rápido y fuerte aumento de la tasa de incremento de corriente eléctrica, por ejemplo, en un orden de magnitud (factor

10), acompañado de una tasa muy elevada de aumento de fuerza, que se limita (principalmente) por las constantes de tiempo de las corrientes de Foucault en el "hierro" o incluso significativamente por el efecto piel en el "cobre". Esto se debe considerar a la hora de seleccionar el material magnético blando, eventualmente, también su laminado y la selección del alambre de cobre (incluido su perfil).

En la figura 3c) se muestra el accionamiento a 1/3 de la carrera. En su proximidad, el conjunto (S1, S2, A1, A2) genera la mayor fuerza con una corriente eléctrica constante. La fuerza de reluctancia en la parte del inducido mostrada también contribuye al apriete.

En la figura 3d) se muestra el accionamiento mientras el inducido ya ha cubierto 2/3 de la carrera.

En la figura 3e) se muestra el accionamiento en su posición final de carrera. Aquí tampoco desaparece la fuerza entre las bobinas. Cuando el accionamiento está completo (la figura 3 muestra sólo la parte derecha del actuador de la figura 1 sin el imán autoportante del lado izquierd0), a esta fuerza se le suma la fuerza de reluctancia ejercida sobre la placa polar o sus componentes en la dirección del movimiento.

El caso mostrado en la figura 3a fue calculado con 20 vueltas de amperios, en los casos mostrados en las figuras 3b a 3e con vueltas de 20.000 amperios, como se puede conseguir fácilmente a través de una descarga de condensador.

Para todas las bobinas del inducido y del estator A1, A2, S1, S2 del accionamiento según la figura 1, se pueden utilizar 20 espiras de alambre plano de cobre esmaltado cuando las proporciones especificadas se interpretan como mm. Las bobinas de retención pueden presentar un mayor número de espiras.

Fuentes de alimentación eléctrica: En el caso más simple, la fuente de alimentación para los accionamientos conforme a la invención consiste en un condensador que se carga y que se descarga mediante un interruptor, por ejemplo, un tiristor, mediante una conexión en serie de las bobinas de inducido y de estator asignadas entre sí. En el presente ejemplo de la figura 1 se trataría de S1, S2, A1, A2. Cuando las bobinas de inducido y de estator se alimentan eléctricamente en direcciones opuestas, el inducido se impulsa hacia su posición final de carrera. El retorno del inducido a la posición inicial de carrera se puede realizar mediante resortes o alimentando con corriente eléctrica las bobinas de inducido y de estator en la misma dirección, o ambos. Para aumentar el nivel de eficiencia eléctrica o influir en la curva fuerza-desplazamiento o fuerza-tiempo, se puede retrasar la corriente máxima que se produce, lo cual se puede realizar, por ejemplo, utilizando una inductancia (saturante o lineal) para el retraso de la descarga del condensador. También se pueden conmutar múltiples condensadores e inductores en el sentido de cadenas de tiempo de funcionamiento o según el principio de compresión de pulsos magnéticos.

La figura 4 muestra un circuito simple con dos tensiones de carga diferentes, que no sólo puede resultar en una eficiencia general mejorada en comparación con un circuito de descarga de condensador simple, sino sobre todo en una curva característica de fuerza-desplazamiento más uniforme que se puede adaptar (pasivamente) a la aplicación. Dicha adaptación se puede realizar mediante una selección adecuada de los parámetros de los componentes, en particular de las capacitancias de condensador y del número de espiras de las bobinas. Además, con un diseño adecuado, las bobinas de retención sólo se alimentan eléctricamente con un retraso cuando el inducido se encuentra cercano a la posición final de carrera y la distancia entre la placa polar y las zapatas polares ya es tan pequeña que la alimentación eléctrica de las bobinas de retención puede contribuir efectivamente a la fuerza de reluctancia que experimenta la placa polar (en la dirección del movimiento). La Fig. 4 muestra un circuito para APRETAR el inducido. Como ya se mencionó, para el retorno se debe generar una contraexcitación a través de otro circuito para reducir la fuerza de retención de los imanes permanentes. Después, un resorte conectado al inducido o un sistema de resortes puede arrastrarlo de regreso, y/o las bobinas de inducido y de estator se alimentan eléctricamente en la misma dirección.

La figura 5 muestra, como alternativa, un sombreado activo que utiliza múltiples interruptores semiconductores que se pueden desconectar (en el ejemplo, IGBTs). Los IGBTs 2-2"' están diseñados como puentes completos. a través de una adecuada señalización (control), el circuito se puede aprovechar para la carga de los condensadores C1-C3 y para su descargar para procesos de conmutación de encendido, así como procesos de conmutación de apagado. Por medio de elementos supresores RC (en el ejemplo, supresor 1 y 2), los picos de tensión al conmutar las cargas inductivas se pueden atenuar para proteger los IGBTs. Los condensadores C1-C3 están protegidos contra la inversión de polaridad mediante un diodo libre respectivamente. Siempre que el IGBT 1 y (al menos) el IGBT 2 y 2″ estén conmutados no conductores, los condensadores se pueden cargar. Cuando el accionamiento se encuentra inicialmente en la posición de encendido (entrehierro de trabajo cerrado), la conmutación del extremo conductor del IGBT 2' y 2"conduce a un suministro de corriente eléctrica a las bobinas de retención a través del condensador C3, que compensa la fuerza de retención de los imanes permanentes. Una fuerza de resorte de retorno puede ahora llevar el accionamiento a la posición APAGADA (entrehierro de trabajo completamente abierto). Después de una ventana de tiempo libremente seleccionable es posible el proceso inverso, el apriete del inducido, porque la batería del condensador C1 -C1 ″ se descarga a través de la conexión en serie A1, A2, S1, S2 después de que se haya

encendido de manera conductora el IGBT 1. De manera ventajosa, las bobinas de retención sólo reciben corriente eléctrica desde el condensador C2 después de un cierto retardo de tiempo a través de la conmutación no conductora de los IGBTs 2' y 2" con la conmutación conductora de los IGBTs 2 y 2", cuando la placa polar ha entrado en el área de influencia de los imanes permanentes (o las piezas polares que les corresponden). Por supuesto, este proceso de apertura/ cierre de los IGBTs también se puede realizar controlando la posición y/o la velocidad, siempre que se mida la posición del inducido (eventualmente en función del tiempo), para lo cual se conocen en general un gran número de procedimientos.

Opciones para aumentar el nivel de eficiencia y acotar el tiempo de posicionamiento: El accionamiento descrito no sólo se puede apretar contra un resorte, sino que también se puede complementar con un sistema de resortes que impulse el inducido desde la posición abierta (posición inicial de carrera) hacia la posición cerrada (posición final de carrera). Para ello, un segundo medio constructivo debe mantener el inducido en la posición de inicio de carrera contra esta fuerza elástica adicional, por ejemplo, una construcción análoga al sistema de retención ya descrito en la posición final de carrera (bobinas de retención y eventualmente, imanes permanentes ("imán de retención automática"). El segundo sistema de resortes complementario debe diseñarse de tal manera que el inducido experimente una fuerza que lo acelere en la dirección de la posición central de carrera desde ambas posiciones finales (inicio de carrera y final de carrera). Resulta ventajoso, aunque no es obligatorio, que el sistema de resortes suplementario primero acelere el inducido en la dirección de la posición final de carrera antes de que actúe como freno desde un punto determinado de la carrera, de modo que la integral de la fuerza elástica sobre la carrera sea igual a cero. En última instancia, la velocidad del inducido aumenta a lo largo de toda la carrera, lo que se sabe que incrementa la eficiencia de la máquina: La energía eléctrica suministrada al accionamiento se convierte en pérdidas y trabajo útil. La relación entre trabajo útil y energía suministrada es el nivel de eficiencia. El trabajo útil es una función del recorrido, que es finito. El trabajo perdido, principalmente las pérdidas óhmicas, es, sin embargo, una función del tiempo y continúa aumentando monótonamente. Cuanto más rápido se cubra un determinado recorrido, menor será el componente óhmico y mayor será el nivel de eficiencia.

De acuerdo con este método, un proceso de posicionamiento se ejecuta, por ejemplo, de la siguiente manera: El medio que mantienen al inducido en su posición inicial de carrera contra la fuerza elástica (por ejemplo, la contraexcitación de las "bobinas de retención", es decir, el imán de sujeción automática) se libera. A continuación, el sistema de resortes acelera el inducido primero, en la dirección de la posición central de carrera. Durante este tiempo o con un cierto retraso, se activa la alimentación eléctrica de las bobinas de inducido y de las bobinas de estator. Las mismas ahora también aceleran el inducido, con un nivel de eficiencia mucho mayor que si lo aceleraran desde su posición de reposo. La energía cinética comunicada allí al inducido se almacena de nuevo parcialmente en el sistema de resorte en el acercamiento a su posición final de carrera.

REIVINDICACIONES

1. Accionamiento lineal electromagnético escalable altamente dinámico con carrera limitada que comprende:

- un estator que comprende dos brazos magnéticos blandos;

- un inducido al menos por secciones plano de material magnético blando, que está dispuesto de forma móvil a lo largo de un eje longitudinal entre los brazos del estator;

- al menos dos bobinas de estator planas (S1, S2), cada una con un núcleo de bobina magnética blando y una altura de bobinado (H), las cuales están fijadas al estator; en donde los núcleos de bobina de las bobinas de estator planas (S1, S2) conforman respectivamente una parte de los brazos magnéticos blandos o están conectadas de manera magnéticamente conductora con ellos; en donde las dos bobinas de estator planas (S1, S2) están dispuestas en dos lados ubicados en oposición de los brazos del estator y coaxiales de modo que las dos bobinas de estator planas (S1, S2) presentan un eje de bobina común que está ubicado normal con respecto al eje longitudinal;

- al menos una bobina de inducido plana (A1, A2) con un núcleo de bobina magnético blando y una altura de bobinado (H), la cual está fijada al inducido; en donde el núcleo de bobina del inducido plano conforma una parte del inducido y/o puede conformarse a partir del mismo, o la bobina de inducido se encuentra, con su núcleo de bobina magnético blando, reposando en una cavidad del inducido plano; en donde la, al menos una, bobina de inducido (A1, A2) presenta un eje de bobina que está ubicado normal con respecto al eje longitudinal y paralelo al eje de bobina de las bobinas de estator (S1, S2), y en donde la, al menos una, bobina de inducido (A1, A2) se puede alimentar con corriente eléctrica en direcciones opuestas a las bobinas de estator (S1, S2) para mover el inducido desde la posición de inicio de carrera a la posición final de carrera;

- una posición de inicio de carrera y final de carrera bien definida;

- al menos un medio conmutable que está diseñado para mantener el inducido contra una fuerza de retorno en al menos una posición final;

- una fuente de alimentación conmutable que comprende un acumulador de energía eléctrica y al menos un interruptor, en el cual el medio conmutable es un imán autoportante conectado mecánicamente con el inducido o un mecanismo de bloqueo mecánico.

2. Accionamiento lineal según la reivindicación 1, en el cual el acumulador de energía eléctrica es una batería de condensadores.

3. Accionamiento lineal según una de las reivindicaciones 1 ó 2, en el cual el inducido y/o los brazos del estator están compuestos de paquetes laminados o polvos magnéticos blandos unidos por plástico.

4. Accionamiento lineal según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el cual el inducido, normal con respecto al eje longitudinal, presenta una sección transversal rectangular, cuya altura (G) es esencialmente menor que su ancho (O).

5. Accionamiento lineal según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el cual las bobinas de estator planas (S1, S2) y/o la, al menos una, bobina de inducido plana (A1, A2) presentan una longitud (L) normal con respecto al eje longitudinal y a lo largo del eje longitudinal una altura de bobinado (H), que es al menos dos veces mayor que la longitud (L).

6. Accionamiento lineal según la reivindicación 5, en el cual la altura de bobinado (H) de las bobinas de estator planas (S1, S2) y/o de la, al menos una, bobina de inducido plana (A1, A2) corresponde aproximadamente a dos tercios de la carrera máxima (S) del accionamiento lineal.

7. Accionamiento lineal según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual las bobinas de estator (S1, S2) se pueden alimentar con corriente eléctrica en la misma dirección.

8. Accionamiento lineal según la reivindicación 1, en el cual, en la posición de inicio de carrera, el eje de bobina de la, al menos una, bobina de inducido (A1, A2) está dispuesto desplazado con respecto al eje de bobina de las bobinas de estator (S1, S2) a lo largo del eje longitudinal, de tal modo que una distancia normal entre los ejes de bobina aumenta cuando el inducido se mueve fuera de la posición de inicio de carrera y hacia la posición final de carrera; en donde el desplazamiento entre los ejes de bobina de la, al menos una, bobina de inducido (A1, A2) y las

bobinas de estator (S1, S2) corresponde preferentemente alrededor de la mitad de la altura de bobinado (H) de una bobina de estator (S1 , S2); o en donde, preferentemente, el desplazamiento entre los ejes de bobina de la, al menos una, bobina de inducido (A1, A2) y las bobinas de estator (S1, S2) se encuentra en un rango entre 0,5 y 1 veces la altura de bobinado (H) de una bobina de estator (S1, S2).

9. Accionamiento lineal según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual la, al menos una, bobina de inducido (A1, A2) y las bobinas de estator (S1, S2) están diseñadas y alimentadas con corriente eléctrica de tal manera que la, al menos una, bobina de inducido (A1, A2) genera aproximadamente el mismo flujo magnético que las dos bobinas de estator (S1, S2).

10. Accionamiento lineal según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual la alimentación de corriente eléctrica está dimensionada de tal manera que accione el actuador desde la posición de inicio de carrera a la posición final de carrera y el material del inducido y/o del estator en la zona entre la, al menos una, bobina de inducido (A1, A2) y las bobinas del estator (S1, S2) esté seleccionado de manera que se sature magnéticamente y se pueda lograr localmente una densidad de flujo magnético que exceda la polarización de saturación del material.

11. Accionamiento lineal según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual el brazo del estator y el inducido están diseñados de tal manera que el campo magnético generado por las bobinas de estator (S1, S2) y la, al menos una, bobina de inducido (A1, A2) no fluye a través de ningún entrehierro significativo.

12. Accionamiento lineal según una de las reivindicaciones precedentes, en donde el accionamiento lineal presenta dos planos de simetría, cuya línea de intersección corresponde al eje longitudinal.

13. Accionamiento lineal según una de las reivindicaciones precedentes, en donde el accionamiento lineal presenta dos planos de simetría, cuya línea de intersección es un eje de rotación de dos puntos y corresponde al eje longitudinal.

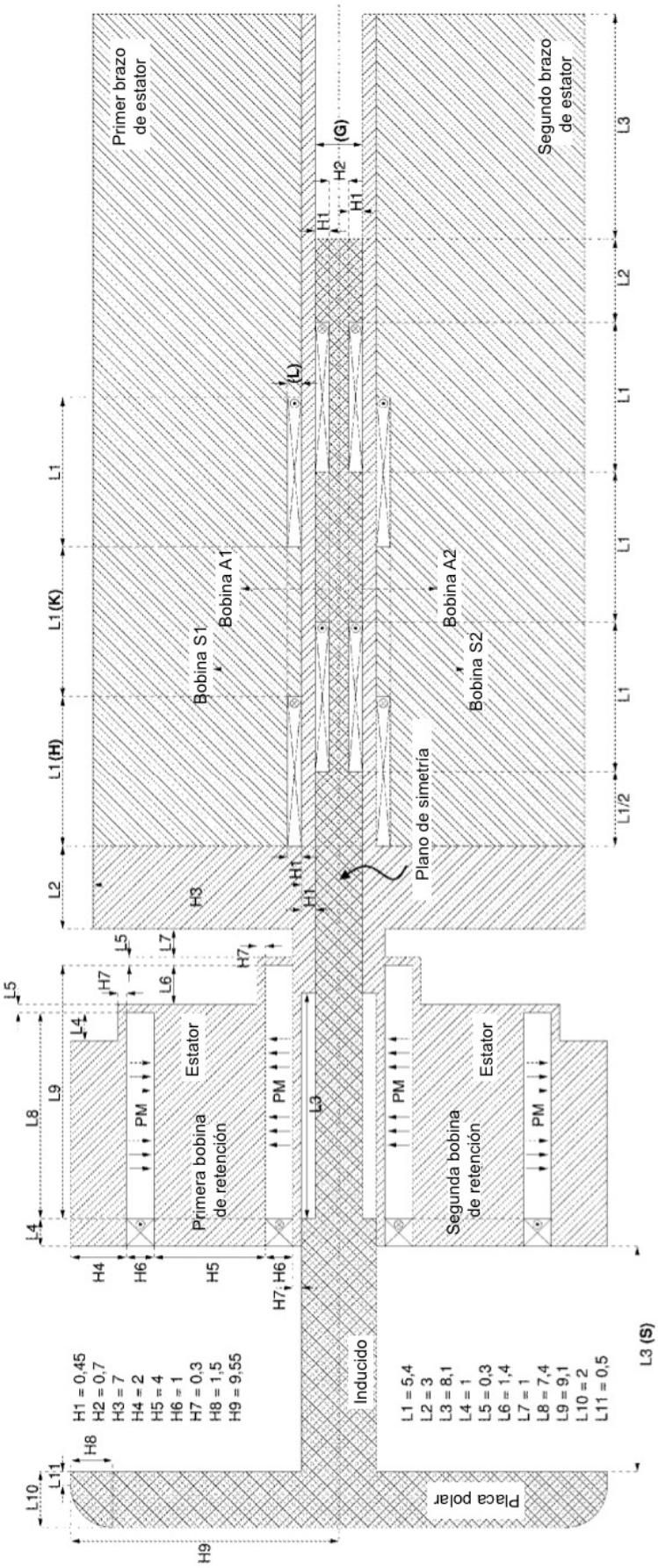
Primer brazo de estator
Segundo brazo de estator
Bobina S1
Bobina A1
Bobina A2
Bobina S2
Plano de simetría
Estator
Primera bobina de retención
Segunda bobina de retención
PM
Inducido
Placa polar
L1 (K)
L1 (H)
L1
L2
L3
L3 (S)
L1/2
(L)
(G)
H1 = 0,45
H2 = 0,7
H3 = 7
H4 = 2
H5 = 4
H6 = 1
H7 = 0,3
H8 = 1,5
H9 = 9,55
L1 = 5,4
L2 = 3
L3 = 8,1
L4 = 1
L5 = 0,3
L6 = 1,4
L7 = 1
L8 = 7,4
L9 = 9,1
L10 = 2
L11 = 0,5

Fig. 1

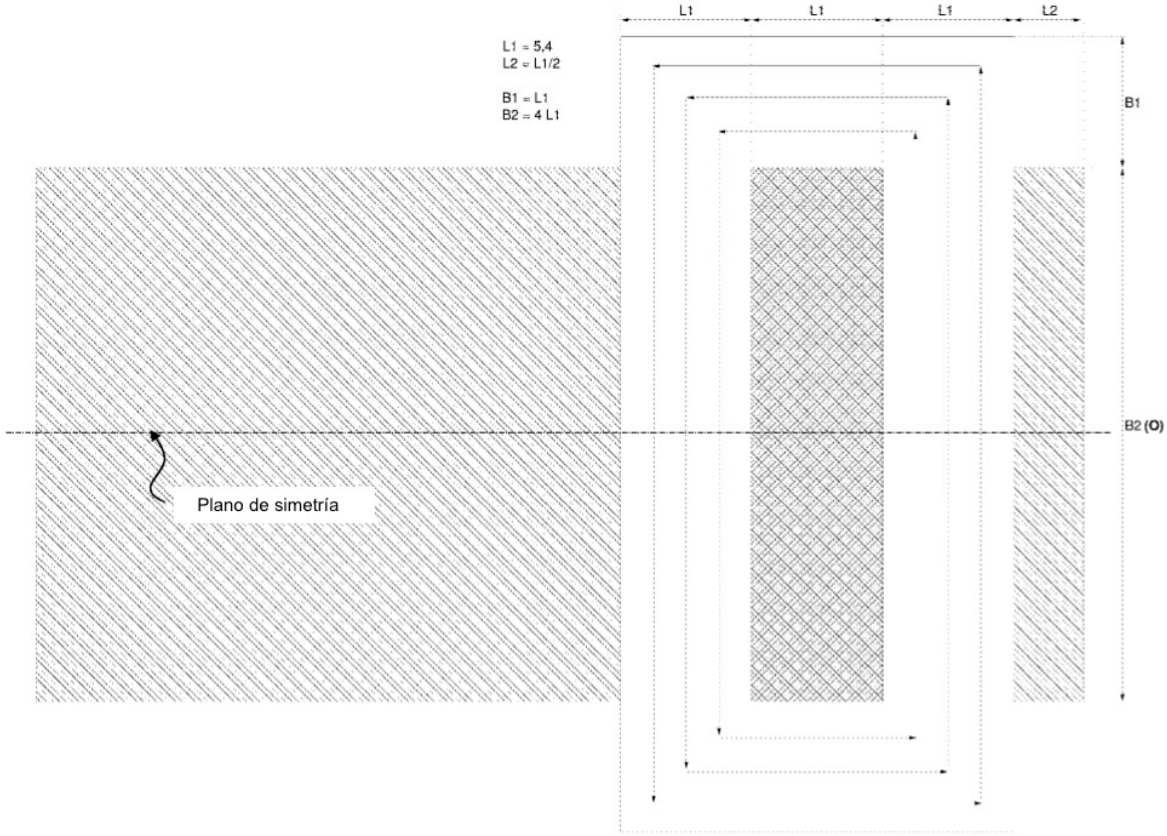

Fig. 2

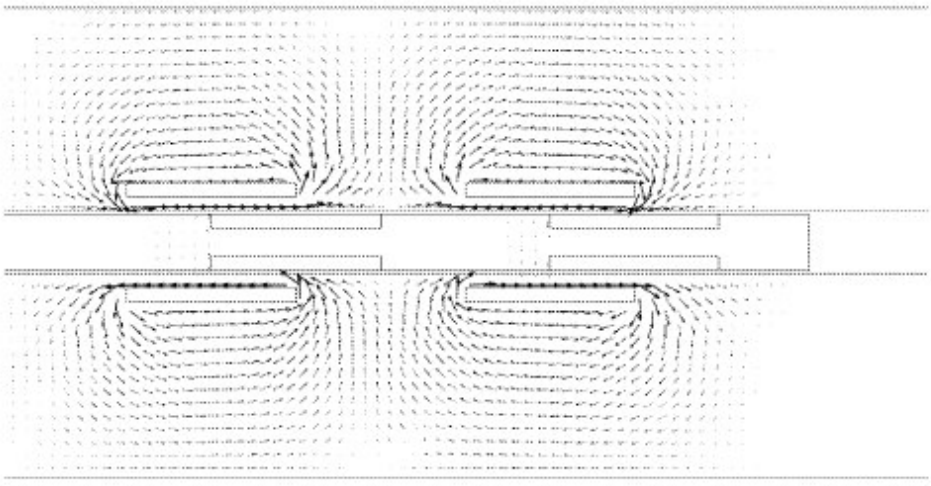

Fig. 3a

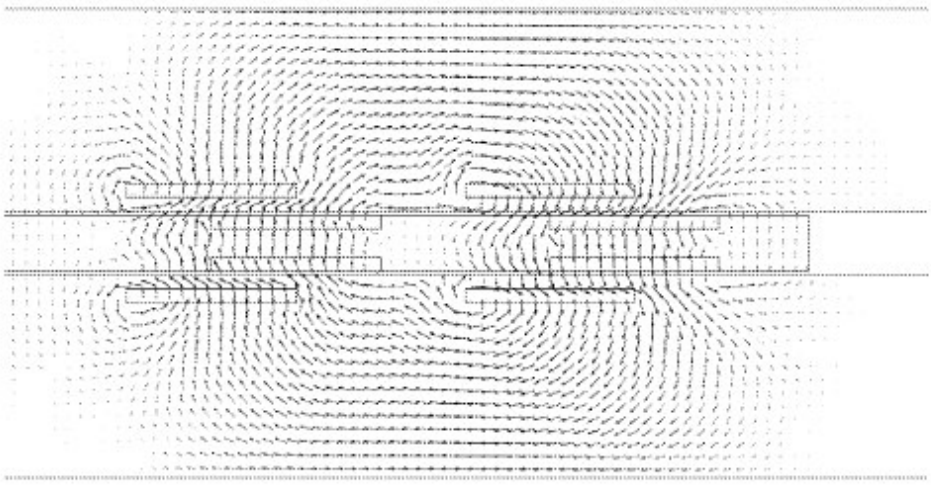

Fig. 3b

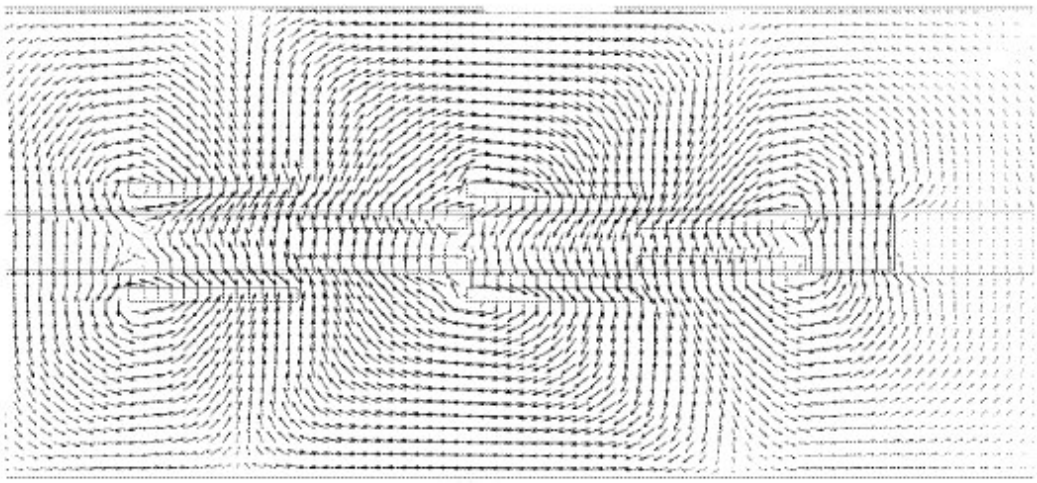

Fig. 3c

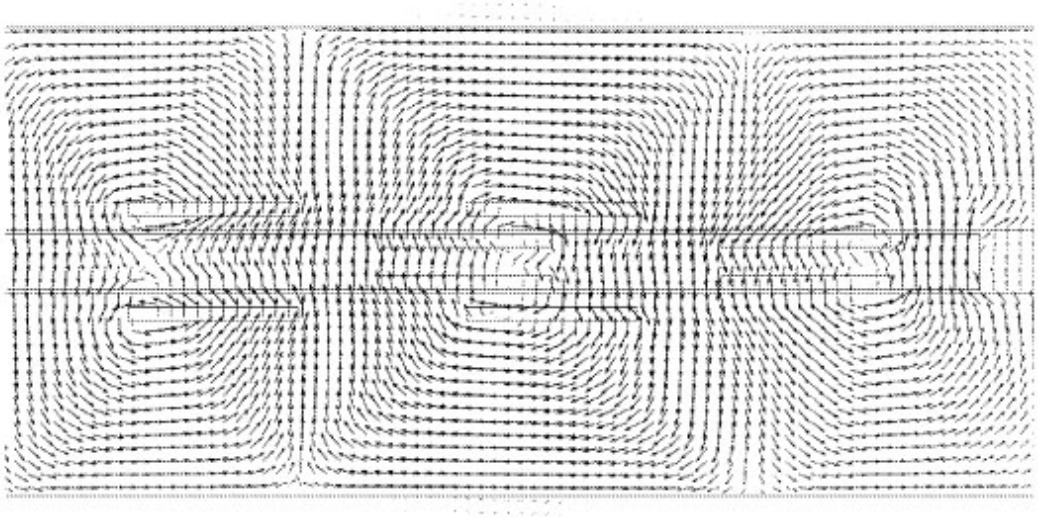

Fig. 3d

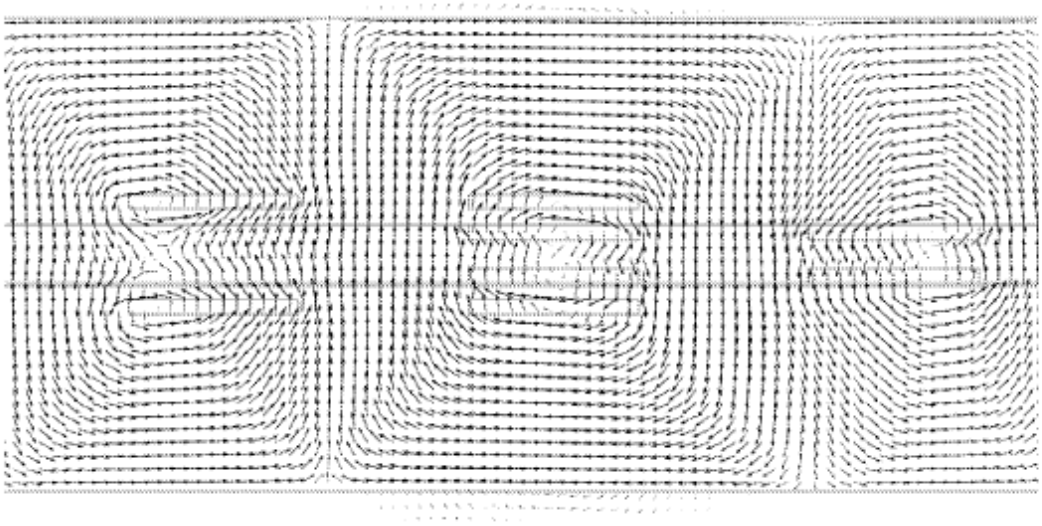

Fig. 3e

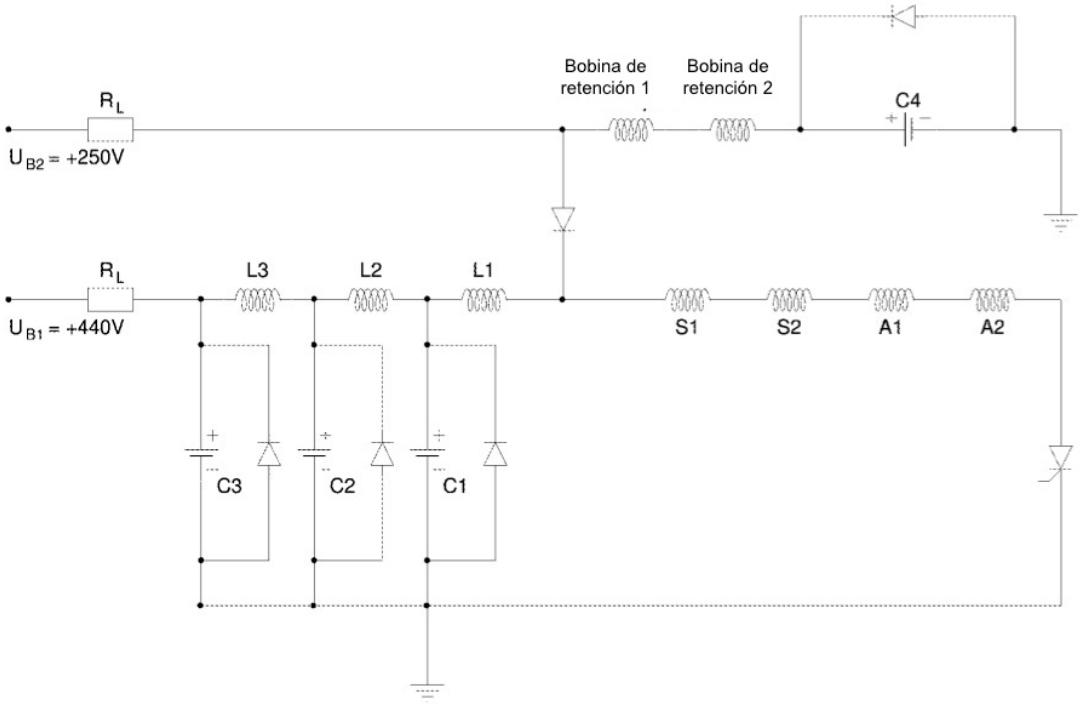
Bobina de retención 1
Bobina de retención 2
C4
R_L
U_{B2} = +250V
R_L
L3
L2
L1
U_{B1} = +440V
S1
S2
A1
A2
C3
C2
C1

Fig. 4

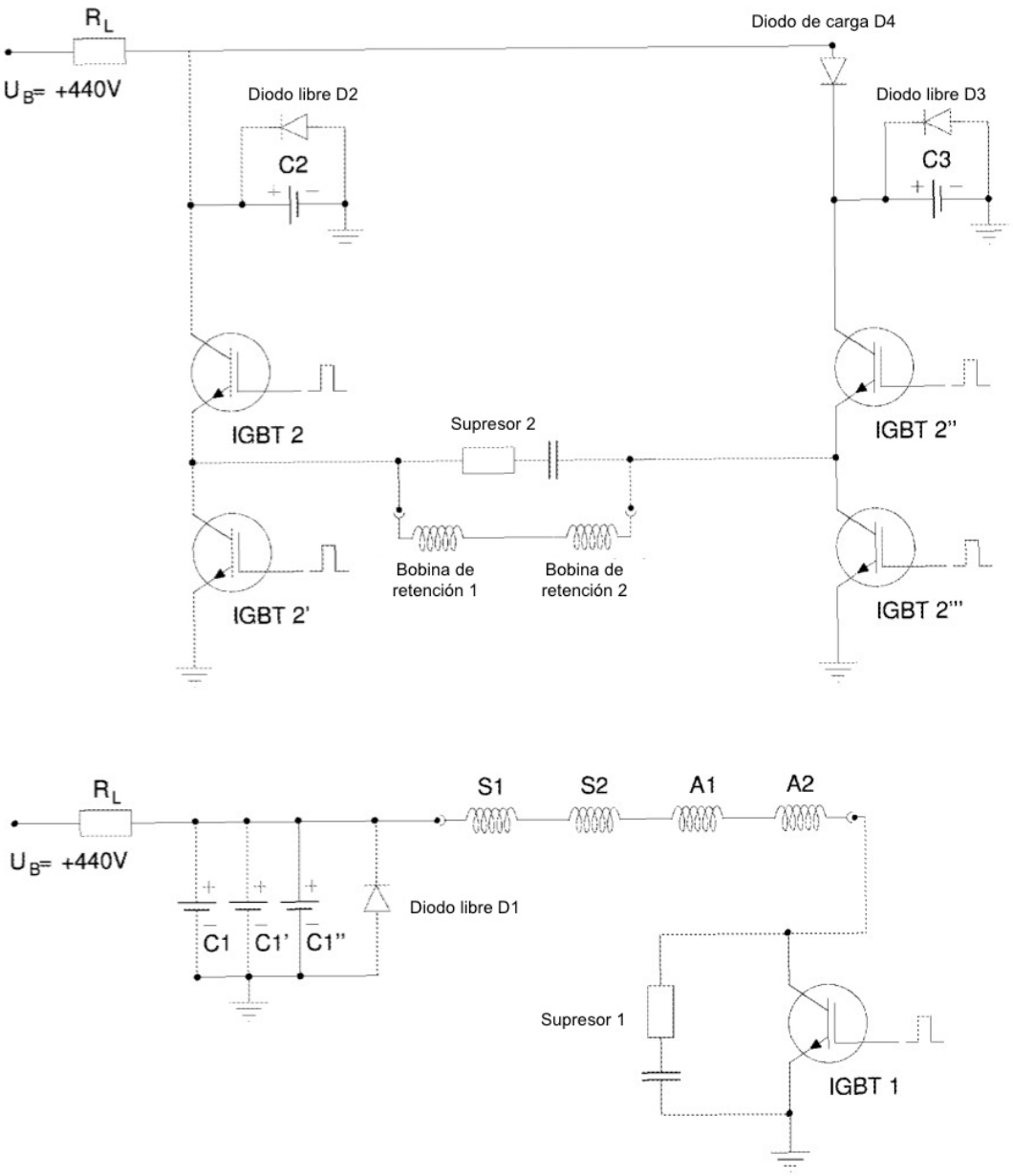
R_L
U_B= +440V
Diodo de carga D4
Diodo libre D2
C2
Diodo libre D3
C3
IGBT 2
Supresor 2
IGBT 2''
Bobina de retención 1
Bobina de retención 2
IGBT 2'
IGBT 2'''
R_L
S1
S2
A1
A2
U_B= +440V
Diodo libre D1
C1
C1'
C1''
Supresor 1
IGBT 1

Fig. 5