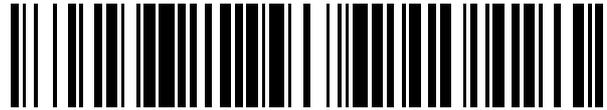


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 395 753**

51 Int. Cl.:

H02P 3/18

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2009 E 09749128 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2012 EP 2356738**

54 Título: **Sistema de freno eléctrico de pérdidas magnéticas**

30 Prioridad:

14.11.2008 FR 0857726

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

14.02.2013

73 Titular/es:

**HISPANO SUIZA (100.0%)
18, boulevard Louis-Seguin
92707 Colombes Cedex, FR**

72 Inventor/es:

DE WERGIFOSSE, ERIC

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 395 753 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

Sistema de freno eléctrico de pérdidas magnéticas

Ámbito técnico

5 La invención se refiere a un sistema de freno eléctrico de pérdidas magnéticas destinado a disipar la energía producida por una máquina electromecánica durante la fase de frenado, cuando la red de alimentación o su interfaz no es bidireccional.

Estado de la técnica anterior

10 Tanto en el caso en que la máquina electromecánica sea alimentada directamente por una tensión continua (motor de escobillas por ejemplo), como en el caso en que ésta sea alimentada por una tensión alterna a través de un ondulator, la energía generada durante las fases de frenado de la máquina, es generalmente disipada por un sistema conectado al bus de CC. En la mayoría de los casos, esta disipación es asegurada por resistencias. Cuando estas resistencias deben almacenar energías importantes y/o cuando deben resistir a un gran número de ciclos de funcionamiento, éstas son pesadas, voluminosas y caras. Además, el flujo de disipación hacia la pared de la carcasa a la que las mismas están fijadas es, en estos casos, difícil de controlar. Esto hace no fácil la gestión térmica de la aplicación.

15 La figura 1 es un esquema eléctrico que muestra un sistema clásico de freno eléctrico con disipación de la energía restituida por el frenado en una resistencia. Este sistema de freno eléctrico está dispuesto en el circuito de alimentación de una máquina electromecánica M. El circuito de alimentación comprende una fuente de tensión continua 1 que alimenta, a través de un diodo de protección Dp, un ondulator 3 en cuyos bornes está conectada la máquina electromecánica M. Entre el cátodo del diodo de protección Dp y el borne - de la fuente de tensión continua 1 está conectado, en inverso, un diodo de rueda libre D1 y un filtro de modo diferencial. El filtro de modo diferencial comprende una inductancia L, bobinada alrededor de un circuito magnético 2, y un condensador C. El ondulator 3 está conectado a los bornes del condensador C. El sistema de freno eléctrico comprende un primer ramal que comprende dos diodos D2 y D3 conectados en serie y en inverso a los bornes del condensador C. Un segundo ramal, que comprende una resistencia de frenado Rf en serie con un transistor (IGBT u otro) indicado por T, está conectado a los bornes del condensador C. El punto medio entre la resistencia de frenado Rf y el transistor T está unido al punto medio situado entre los diodos D2 y D3. Durante un frenado de la máquina electromecánica M, la energía de frenado es disipada en la resistencia Rf.

20 El funcionamiento del circuito de la figura 1 es el siguiente. Cuando la máquina electromecánica M facilita energía mecánica, el transistor T es mandado para estar en modo bloqueado y ninguna corriente circula por la resistencia Rf. Los diodos D2 y D3 están inoperantes en esta fase. Cuando la máquina electromecánica recibe energía mecánica, el ondulator 3 reenvía energía eléctrica hacia el condensador C. Haciendo conductor al transistor T, habitualmente por medio de un mando MLI (de Modulación de Anchura por Impulsos), se provoca entonces el paso de una corriente eléctrica por la resistencia Rf y la disipación en forma térmica de la energía eléctrica reenviada por la máquina electromecánica a la entrada del ondulator. Los diodos D2 y D3 sirven de diodo de rueda libre para el conjunto de las inductancias parásitas del ramal constituido por la resistencia Rf y el transistor T.

25 El documento US-A-6 072 291 divulga un sistema de freno eléctrico para una máquina electromecánica conectada a los bornes de salida de un ondulator cuyos bornes de entrada son alimentados por una fuente de tensión continua. El sistema comprende un circuito eléctrico conectado entre los bornes de entrada del ondulator y que comprende, conectados en serie:

- 30 - medios de disipación de una energía eléctrica reenviada por la máquina electromecánica a los bornes de entrada del ondulator durante una fase de frenado de la máquina electromecánica,
- 35 - medios de conmutación destinados a cerrar el citado circuito eléctrico durante una fase de frenado de la máquina electromecánica y a abrir el citado circuito eléctrico en ausencia de una fase de frenado de la máquina electromecánica.

40 De acuerdo con la patente US-A-6 072 291, la energía eléctrica, que es reenviada a los bornes de entrada del ondulator durante una fase de frenado, es disipada principalmente en una resistencia de frenado.

Exposición de la invención

45 La invención propone otra solución que la disipación en una resistencia eléctrica, para el frenado eléctrico de una máquina electromecánica. La solución propuesta es disipar en el núcleo de una inductancia la energía producida por una máquina electromecánica durante una fase de frenado, compartiendo esta inductancia por ejemplo el mismo núcleo magnético que la inductancia de filtrado de la alimentación en corriente continua.

Las pérdidas magnéticas en el núcleo dependen de la frecuencia y de la amplitud de la variación de inducción. La cantidad de energía disipada en el núcleo puede ser dosificada por tanto en cualquier instante por un mando MLI a frecuencia fija o variable aplicada al transistor T.

5 Así pues, la invención tiene por objeto un sistema de freno eléctrico para una máquina electromecánica conectada a los bornes de salida de un ondulator cuyos bornes de entrada son alimentados por una fuente de tensión continua, comprendiendo el sistema un circuito eléctrico conectado entre los bornes de entrada del ondulator y que comprende, conectados en serie:

- medios de disipación de una energía eléctrica reenviada por la máquina electromecánica a los bornes de entrada del ondulator durante una fase de frenado de la máquina electromecánica,

10 - medios de conmutación destinados a cerrar el citado circuito eléctrico durante una fase de frenado de la máquina electromecánica y a abrir el citado circuito eléctrico en ausencia de una fase de frenado de la máquina electromecánica,

15 caracterizado porque los medios de disipación de una energía eléctrica comprenden una inductancia bobinada alrededor de un circuito magnético, siendo disipada la energía recuperada por la inductancia durante una fase de frenado por pérdidas de histéresis y corrientes de Foucault en el circuito magnético, no estando prevista en la entrada del ondulator ninguna resistencia de disipación de la energía eléctrica reenviada por la máquina electromecánica.

20 Puede utilizarse un filtro de modo diferencial. Este filtro puede comprender una inductancia de filtrado, bobinada alrededor de un circuito magnético y colocada en serie entre la fuente de tensión continua y el ondulator, y un condensador de filtrado colocado entre los bornes de entrada del ondulator. La inductancia de filtrado y la inductancia de disipación pueden tener un circuito magnético común o no según el modo de realización.

25 De acuerdo con un modo de realización, la inductancia de filtrado y la inductancia de disipación utilizan el mismo circuito magnético pero no están acopladas entre sí magnéticamente. En este caso, el circuito magnético puede ser un circuito en EI o EE, comprendiendo la inductancia de filtrado dos arrollamientos idénticos conectados en serie, estando bobinado cada arrollamiento alrededor de una pata externa de la E, estando bobinada la inductancia de disipación alrededor de la otra pata central de la E. La disposición inversa es igualmente posible, comprendiendo la inductancia de disipación dos arrollamientos idénticos conectados en serie, estando bobinado cada arrollamiento alrededor de una pata externa de la E, estando bobinada la inductancia de filtrado alrededor de la pata central de la E.

30 De acuerdo con otro modo de realización, la inductancia de filtrado y la inductancia de disipación están acopladas entre sí. En este caso, el circuito magnético puede ser un circuito en forma de O que presenta dos ramales opuestos de bobinado, estando constituida la inductancia de filtrado por dos arrollamientos conectados en serie, estando bobinado cada uno igualmente alrededor de un ramal.

35 La invención se aplica a cualesquiera máquinas electromecánicas reversibles conectadas a un bus de CC, directamente o a través de un convertidor. En la mayoría de las aplicaciones, se tratará de una máquina síncrona o asíncrona trifásica conectada al bus de CC a través de un ondulator trifásico. Para simplificación de la explicación, solo será presentado este caso, pero esto no excluye en modo alguno a los otros casos de máquinas/convertidores.

Breve descripción de los dibujos

40 La invención se comprenderá mejor y otras ventajas y particularidades se pondrán de manifiesto con la lectura de la descripción que sigue, dada a título de ejemplo no limitativo, acompañada de los dibujos anejos, en los cuales:

- la figura 1, ya descrita, es un esquema eléctrico que representa un sistema de freno eléctrico, dispuesto en el circuito de alimentación eléctrica de una máquina electromecánica, con disipación de la energía restituida por el frenado en una resistencia, de acuerdo con la técnica anterior,

45 - la figura 2 es un esquema eléctrico que representa un sistema de freno eléctrico, dispuesto en el circuito de alimentación eléctrica de una máquina electromecánica, con disipación de la energía restituida por el frenado en una inductancia bobinada alrededor de un circuito magnético diferente de aquél de la inductancia de filtrado, de acuerdo con la invención,

50 - la figura 3 es un esquema eléctrico que representa un segundo sistema de freno eléctrico, dispuesto en el circuito de alimentación eléctrica de una máquina electromecánica, con disipación de la energía restituida por el frenado en una inductancia bobinada alrededor de un circuito magnético común con aquél de la inductancia de filtrado, de acuerdo con la invención,

- la figura 4 es un esquema eléctrico que representa un tercer sistema de freno eléctrico, dispuesto en el circuito de alimentación eléctrica de una máquina electromecánica, con disipación de la energía restituida por el frenado en una

inductancia bobinada alrededor de un circuito magnético común con aquél de la inductancia de filtrado pero sin acoplamiento magnético, de acuerdo con la invención,

- la figura 5 representa un circuito magnético equipado con inductancias, utilizable en el sistema de freno eléctrico, descrito en la figura 4, de acuerdo con la invención,

5 - la figura 6 es un esquema eléctrico que representa un cuarto sistema de freno eléctrico, dispuesto en el circuito de alimentación eléctrica de una máquina electromecánica, con disipación de la energía restituida por el frenado en una inductancia bobinada alrededor de un circuito magnético, de acuerdo con la invención,

- la figura 7 es una vista en perspectiva de un circuito magnético equipado con inductancias, utilizable en el sistema de freno eléctrico, salvo el descrito en la figura 4, de acuerdo con la invención,

10 - la figura 8 ilustra la manera de disponer un circuito magnético, utilizable en el sistema de freno eléctrico de acuerdo con la invención, en el interior de una carcasa que aloja al sistema de freno eléctrico.

Exposición detallada de modos de realización particulares

En la parte de la descripción que sigue, los elementos de los esquemas que son idénticos a los elementos representados en el esquema eléctrico de la figura 1 estarán indicados de modo idéntico.

15 La figura 2 es un esquema eléctrico que representa un primer sistema de freno eléctrico, dispuesto en un circuito de alimentación de una máquina electromecánica (un motor trifásico por ejemplo), con disipación de la energía restituida por el frenado en una inductancia bobinada alrededor de un circuito magnético.

20 El esquema de la figura 2 difiere del esquema de la figura 1 en que la resistencia R_f de disipación de la energía de frenado es reemplazada por una inductancia L_f bobinada alrededor de un circuito magnético 4. En este esquema, no hay acoplamiento y ningún elemento común entre las inductancias L y L_f . Durante una fase de frenado, la energía recuperada por la inductancia L_f es disipada por pérdidas de histéresis y corrientes de Foucault en el circuito magnético 4.

25 La figura 3 es un esquema eléctrico que muestra un segundo sistema de freno eléctrico de acuerdo con la invención. En este modo de realización, el circuito magnético 4 es común para la inductancia L del filtro de modo diferencial y para la inductancia L_f de disipación de la energía de frenado. En este caso, los bobinados de las inductancias L y L_f están acoplados. La referencia L_s designa una inductancia saturable, dispuesta en serie con la inductancia L_f , y destinada a mantener la calidad del filtrado.

30 La figura 4 es un esquema eléctrico que muestra un tercer sistema de freno eléctrico de acuerdo con la invención. En este modo de realización, el circuito magnético 4 es común para la inductancia L del filtro de modo diferencial y para la inductancia L_f de disipación de la energía de frenado. Contrariamente al sistema de freno eléctrico mostrado en el esquema de la figura 3, no hay acoplamiento magnético entre los bobinados de las inductancias L y L_f . Para obtener este resultado, se puede utilizar por ejemplo un circuito magnético 4 de forma E1 como muestra la figura 5. La inductancia L del filtro de modo diferencial está constituida entonces por dos bobinados idénticos L' y L'' conectados en serie y dispuestos cada uno sobre una pata externa de la parte del circuito magnético en forma de E. Para un funcionamiento en modo filtrado, es decir durante una fase en la que la potencia facilitada por la fuente de tensión continua está dirigida hacia el motor, no hay flujo magnético en la pata central de la E (véanse las flechas oscuras en la figura 5). La inductancia L_f de disipación de la energía de frenado está bobinada alrededor de la pata central de la parte del circuito magnético en forma de E. Durante un funcionamiento en modo frenado, los flujos magnéticos que circulan por las patas externas de la parte del circuito magnético en forma de E son de sentido contrario (véanse las flechas claras en la figura 5). No hay por tanto tensión eléctrica generada en los bornes de la inductancia L de filtro de modo diferencial.

35 La figura 6 es un esquema eléctrico que muestra un cuarto sistema de freno eléctrico de acuerdo con la invención. En este modo de realización, el circuito magnético 4 es común para la inductancia L del filtro de modo diferencial y para la inductancia L_f de disipación de la energía de frenado. Un condensador C_f está añadido en serie con la inductancia L_f . El valor del condensador C_f es elegido para formar un circuito resonante (para una frecuencia de aproximadamente 20 kHz) con la inductancia L_f . En el caso de la figura 6, se trata por tanto de un circuito resonante serie, sin embargo se puede considerar un circuito resonante paralelo. El interés de esta variante reside en la disminución de las pérdidas en el conmutador electrónico del freno y en la moderación del nivel de interferencia electromagnética (EMI).

40 La figura 7 es una vista en perspectiva de un circuito magnético equipado con inductancias, utilizable en el sistema de freno eléctrico de acuerdo con la invención. El circuito magnético 10 comprende dos partes 11 y 12 en forma de C cuyas respectivas extremidades están enfrentadas. El material del circuito magnético es en este ejemplo de tipo FeSi a razón del 3% de Si en peso. Un entrehierro de material no magnético 13 (por ejemplo aire, un aislante eléctrico) está previsto entre las extremidades de las partes 11 y 12 enfrentadas a fin de evitar la saturación. Las inductancias de filtrado y de disipación de energía están repartidas cada una en dos arrollamientos como muestra la figura 7. En primer lugar se bobina la inductancia de filtrado. Ésta comprende un primer bobinado L_1 y un segundo

bobinado L2 conectados en serie. A continuación, se bobina la inductancia de disipación. Ésta comprende un primer bobinado Lf1 y un segundo bobinado Lf2 conectados en serie. A título de ejemplo, las dimensiones del circuito magnético pueden ser las siguientes:

- anchura del entrehierro 13, $L_{gap} = 1,05 \text{ mm}$,
- 5 - altura de la ventana de bobinado, $H_w = 14,7 \text{ mm}$
- anchura de la ventana de bobinado, $L_w = 11,5 \text{ mm}$
- longitud de los lados del circuito magnético, $S_{gap} = 20,9 \text{ mm}$.

10 Las características de la inductancia del filtro de modo diferencial son por ejemplo: $240 \mu\text{H}$, 50 A máx, 10 A continua, resistencia $40 \text{ m}\Omega$, 28 espiras. Las características de la inductancia de disipación son por ejemplo: $15 \mu\text{H}$, 50 A de media, 150 A de pico, resistencia $2,5 \text{ m}\Omega$, 7 espiras.

Este circuito magnético equipado con estas inductancias permite una aplicación en un bus de CC de 300 V, 15 kW, 10 kJ. Esto significa que el tiempo de subida en potencia de frenado es de 15 kW en $10 \mu\text{s}$. Con una inductancia de pico de $0,75 \text{ T}$, es posible disipar 15 800 W con un mando PWM (modulación de anchura de impulsos) de 300 V a 23 kHz que controla 150 A de pico para 50 A de media.

15 Si se tiene en cuenta el calor específico de $400 \text{ J/}^\circ\text{C.kg}$ para el FeSi 3% y suponiendo que una elevación de temperatura de 50°C es tolerable, el circuito magnético es capaz de absorber 10 kJ en modo por impulsos.

Si la capacidad térmica no es suficiente, puede considerarse la adición de materiales de cambio de fase.

En caso de disipación media elevada, puede realizarse fácilmente un buen contacto térmico con la carcasa.

20 Si no se desea ningún flujo térmico con el resto de la carcasa, el circuito magnético puede estar equipado con su propio sistema de refrigeración.

25 La figura 8 ilustra la manera de disponer un circuito magnético utilizable en el sistema de freno eléctrico de acuerdo con la invención, en el interior de una carcasa que aloja al sistema de freno eléctrico. En esta aplicación, se trata de poder absorber una gran cantidad de energía en un tiempo muy corto y de disiparla a continuación lentamente hacia la pared de la carcasa. El circuito magnético 20 comprende dos partes: una parte 21 en forma de C y una parte 22 en forma de I. Las partes 21 y 22 están ensambladas para cerrar el circuito magnético con interposición de un entrehierro 23 de material no magnético y no conductor. Como en la estructura representada en la figura 7, la inductancia de filtrado tiene dos arrollamientos L1 y L2 conectados en serie, teniendo la inductancia de disipación dos arrollamientos LF1 y LF2 conectados en serie. La estructura obtenida queda fijada a la pared 24 de la carcasa por intermedio de medios 25 que tienen una resistencia térmica adaptada. Esta disposición permite, en caso de fuerte impulso de energía de frenado, disipar progresivamente el calor generado hacia la pared de la carcasa. La fijación puede hacerse por pegado.

30 La invención proporciona una importante ganancia de masa y de volumen, especialmente si es posible la utilización en común con la inductancia de filtrado de modo diferencial. La utilización de material magnético a alta temperatura permitiría todavía aumentar esta ganancia.

35 La invención proporciona también una importante ganancia en fiabilidad y en duración de vida de servicio gracias a una excelente resistencia al ciclado térmico.

El principal interés de la solución reside en la flexibilidad de gestión de la energía disipada gracias a las innumerables posibilidades de adaptación del circuito magnético con respecto a la carcasa electrónica. La optimización de las condiciones térmicas del conjunto es más fácil.

40 Cuanto más elevado es el nivel de potencia y de energía de frenado, más interesante resulta la solución propuesta. El límite inferior de interés debería situarse en algunas decenas de vatios.

El bucle de servocontrol de la potencia de frenado, que regula la tensión del bus de CC, resulta más rentable en términos de margen de estabilidad y de tiempo de reacción.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema de freno eléctrico para una máquina electromecánica (M) conectada a los bornes de salida de un ondulator (3) cuyos bornes de entrada son alimentados por una fuente de tensión continua (1), comprendiendo el sistema un circuito eléctrico conectado entre los bornes de entrada del ondulator (3) y que comprende, conectados en serie:
- medios de disipación de una energía eléctrica reenviada por la máquina electromecánica (M) a los bornes de entrada del ondulator (3) durante una fase de frenado de la máquina electromecánica,
 - medios de conmutación (T) destinados a cerrar el citado circuito eléctrico durante una fase de frenado de la máquina electromecánica y a abrir el citado circuito eléctrico en ausencia de una fase de frenado de la máquina electromecánica,
- 10 caracterizado porque los medios de disipación de una energía eléctrica comprenden una inductancia (Lf) bobinada alrededor de un circuito magnético (4), siendo disipada la energía recuperada por la inductancia (Lf) durante una fase de frenado por pérdidas de histéresis y corrientes de Foucault en el circuito magnético, no estando prevista en la entrada del ondulator ninguna resistencia de disipación de la energía eléctrica reenviada por la máquina electromecánica.
- 15 2. Sistema de freno eléctrico de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual un filtro de modo diferencial que comprende una inductancia de filtrado (L), bobinada alrededor de un circuito magnético (2) que está colocada en serie entre la fuente de tensión continua (1) y el ondulator (3), y un condensador de filtrado (C) que está colocado entre los bornes de entrada del ondulator (3), la inductancia de filtrado (L) y la inductancia de disipación (Lf) tienen un circuito magnético (4) común.
- 20 3. Sistema de freno eléctrico de acuerdo con la reivindicación 2, en el cual la inductancia de filtrado (L) y la inductancia de disipación (Lf) no están acopladas magnéticamente entre sí.
- 25 4. Sistema de freno eléctrico de acuerdo con la reivindicación 3, en el cual el circuito magnético (4) es un circuito en EI o EE, comprendiendo la inductancia de filtrado dos arrollamientos idénticos (L', L'') conectados en serie, estando bobinado cada arrollamiento alrededor de una pata externa de la E, estando bobinada la inductancia de disipación alrededor de la pata central de la E.
- 30 5. Sistema de freno eléctrico de acuerdo con la reivindicación 3, en el cual el circuito magnético (4) es un circuito en EI o EE, comprendiendo la inductancia de disipación dos arrollamientos idénticos conectados en serie, estando bobinado cada arrollamiento alrededor de una pata externa de la E, estando bobinada la inductancia de filtrado alrededor de la pata central de la E.
- 35 6. Sistema de freno eléctrico de acuerdo con la reivindicación 2, en el cual la inductancia de filtrado (L) y la inductancia de disipación (Lf) están acopladas entre sí.
7. Sistema de freno eléctrico de acuerdo con la reivindicación 6, en el cual el circuito magnético (10) es un circuito en forma de O que presenta dos ramales opuestos de bobinado, estando constituida la inductancia de filtrado por dos arrollamientos (L1, L2) conectados en serie, estando cada uno bobinado alrededor de un ramal, estando constituida la inductancia de disipación por dos arrollamientos (Lf1, Lf2) conectados en serie, estando bobinado cada uno igualmente alrededor de un ramal.
- 40 8. Sistema de freno eléctrico de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual el circuito magnético en forma de O (10) está constituido por dos partes (11, 12) en forma de C fijadas entre sí por medio de entrehierros (13) de material no magnético.
9. Sistema de freno eléctrico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el circuito magnético de la inductancia de disipación está provisto de medios de aislamiento térmico que permiten controlar el nivel del flujo térmico hacia una pared de la carcasa a la cual aquél está fijado.

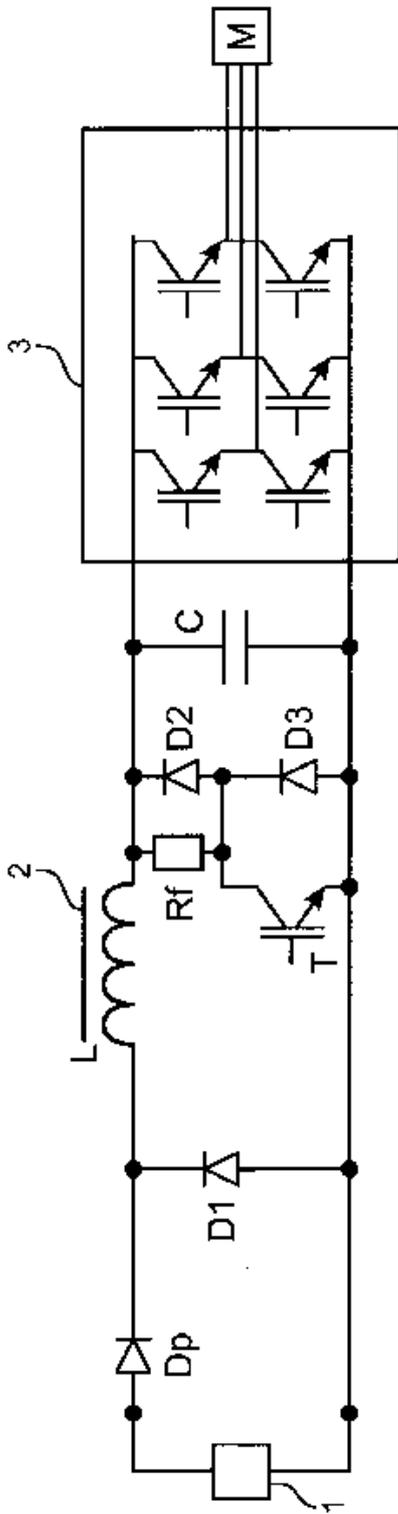


FIG.1

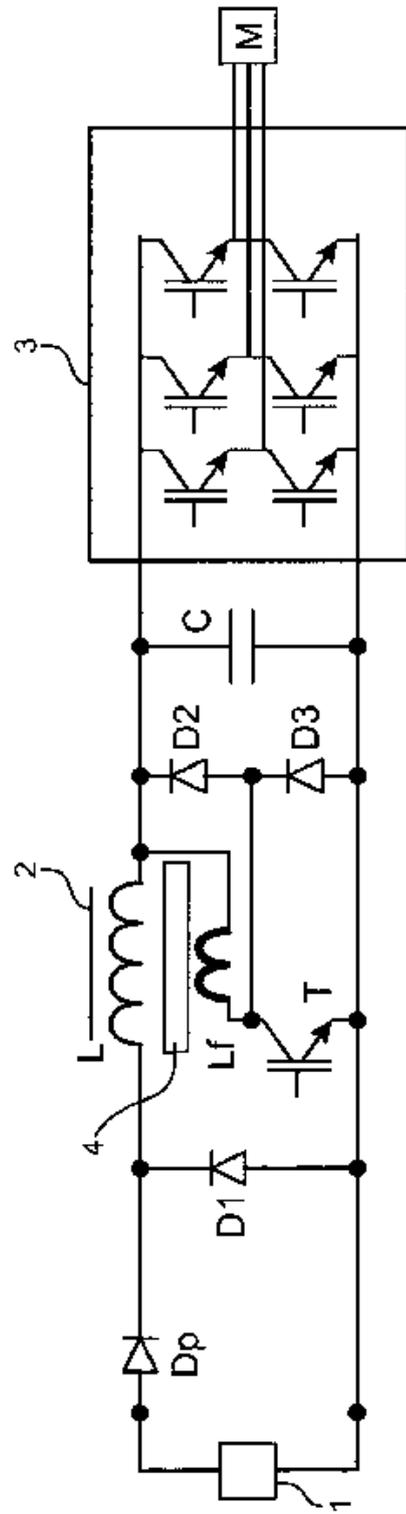


FIG.2

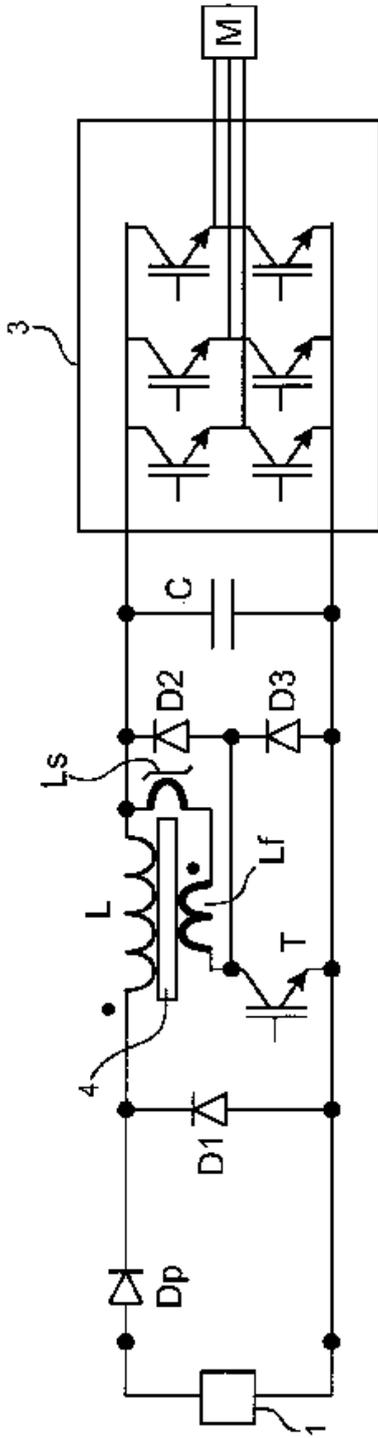


FIG.3

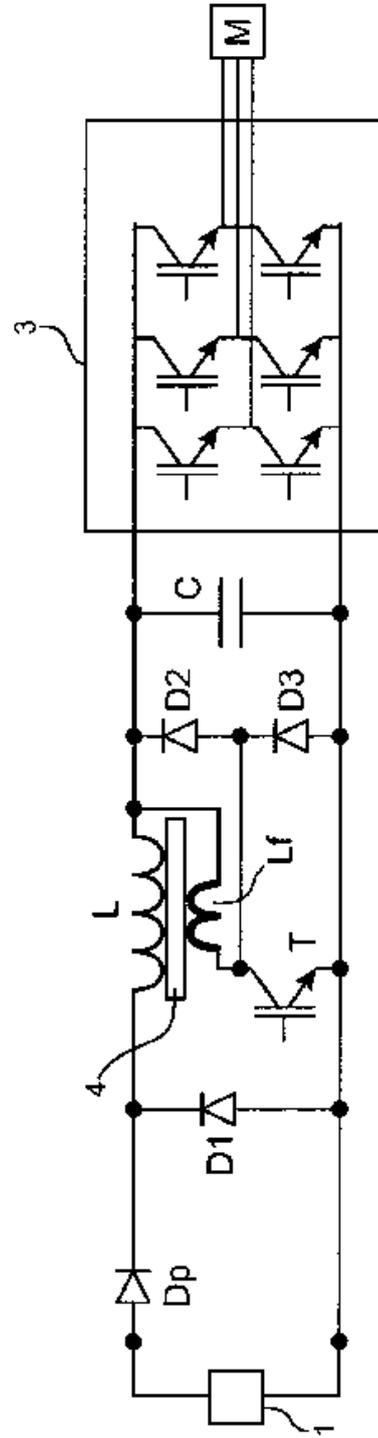


FIG.4

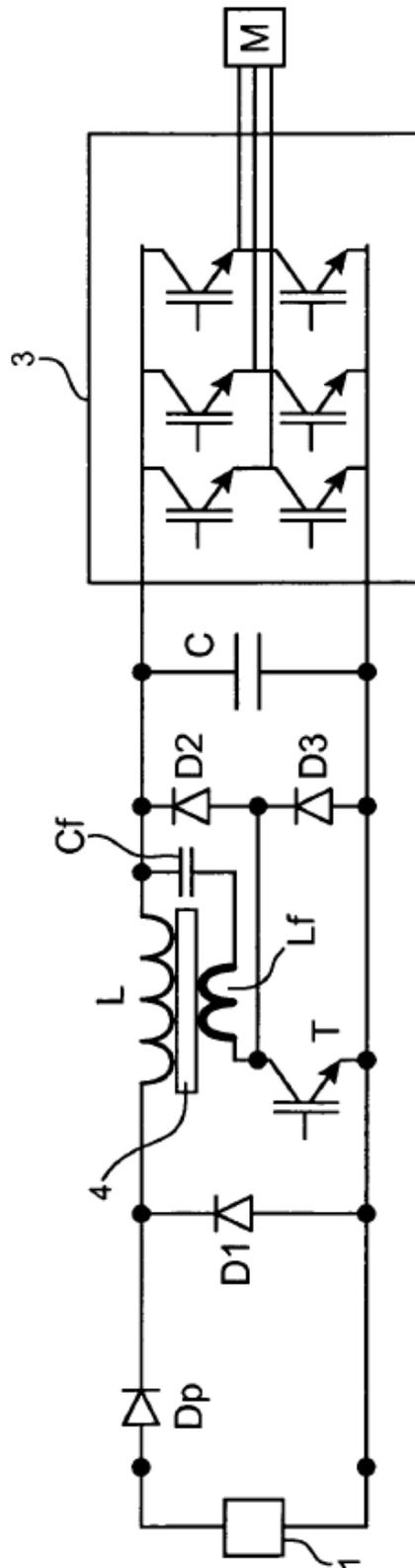


FIG.6

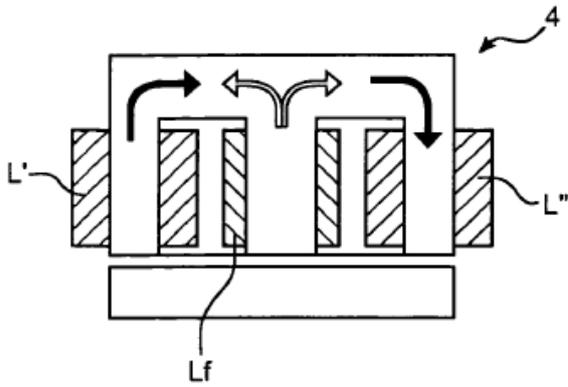


FIG. 5

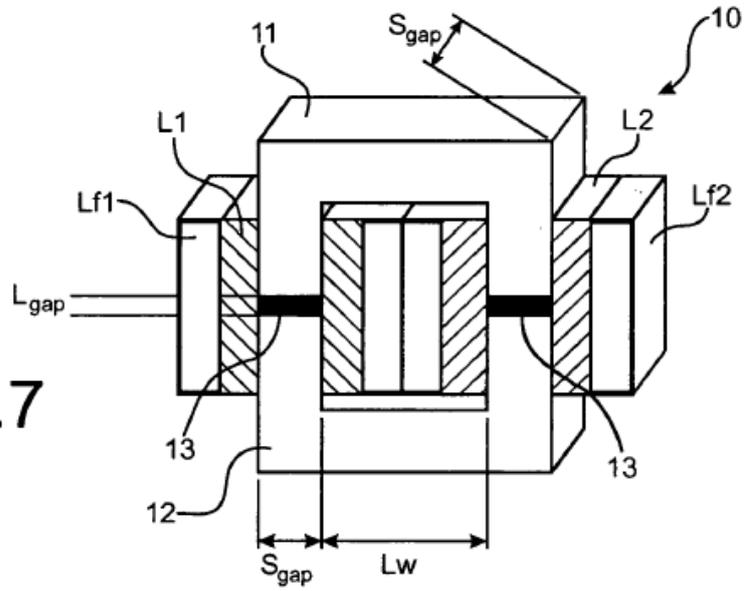


FIG. 7

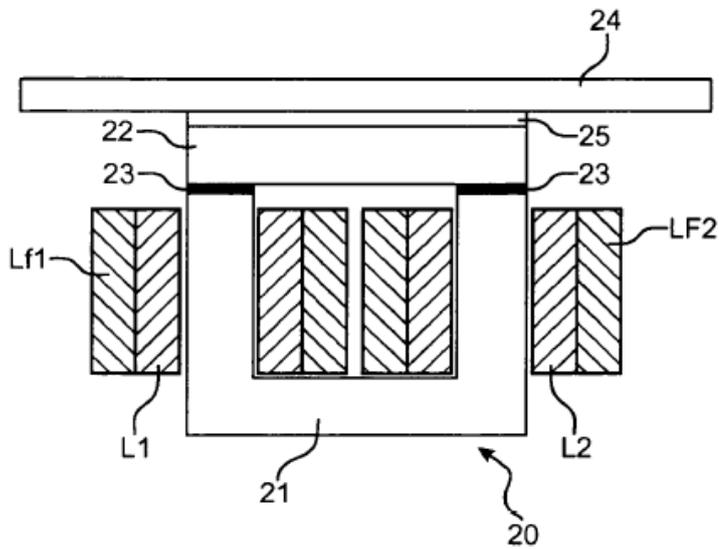


FIG. 8