

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 742 689**

51 Int. Cl.:

H05B 6/02 (2006.01)

H02M 5/45 (2006.01)

H03K 17/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.04.2008 PCT/US2008/059512**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.10.2008 WO08124655**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.04.2008 E 08745188 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2019 EP 2135483**

54 Título: **Inversor alimentado en corriente con regulador de impulsos para el calentamiento, fusión y agitación por inducción eléctrica**

30 Prioridad:

07.04.2007 US 910650 P
01.02.2008 US 25466 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.02.2020

73 Titular/es:

INDUCTOTHERM CORP. (100.0%)
10 Indel Avenue P.O. Box 157
Rancocas, New Jersey 08073, US

72 Inventor/es:

FISHMAN, OLEG S.;
MORTIMER, JOHN H. y
CAO, MIKE MAOCHANG

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 742 689 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

Inversor alimentado en corriente con regulador de impulsos para el calentamiento, fusión y agitación por inducción eléctrica

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a fuentes de suministro de energía con inversores alimentados en corriente y regulación de tales inversores, y a la aplicación de tales fuentes de suministro de energía en aplicaciones de calentamiento, fusión y agitación por inducción eléctrica.

Antecedentes de la invención

- 10 La Figura 1 ilustra un inversor alimentado en corriente convencional 116, conectado a una carga resonante RLC. La carga resonante puede ser, por ejemplo, una bobina de inducción, L_{bobina} , que se utiliza con un horno de inducción o dispositivo de calentamiento eléctrico industrial, dispuesto en serie con un elemento resistivo, R, que representa una carga de trabajo acoplada magnéticamente (por ejemplo, un metal dentro de un horno o un engranaje de metal colocado en el interior de la bobina de inducción) cuando fluye corriente CA [corriente alterna –“AC (alternating current)”–] a través de la bobina de inducción, y un condensador de tanque (resonante), C_{tanque} , conectado en paralelo con la bobina de inducción y con el elemento de resistencia. El inversor convencional se ha ilustrado como un puente en H con dispositivos de conmutación S_1 a S_4 que suministran corriente secuencialmente a través de los pares de conmutación S_1-S_4 y S_2-S_3 , a la carga resonante durante semiciclos eléctricos alternos. La corriente CC [corriente continua –“DC (direct current)”–] es aportada al inversor a través de un inductor de suavización, o bobina de ahogo, L_{ahogo} , corriente que es aportada desde una fuente adecuada. En la Figura 1, un rectificador 112 de tensión variable, de onda completa y trifásico, hecho a partir de rectificadores controlados de silicio, SCR_1 a SCR_6 , u otros tipos de conmutadores eléctricos controlados en fase, se utiliza para aportar la corriente CC. La entrada al rectificador procede de una fuente de CA adecuada, tal como una fuente de suministro de red trifásica de 50 hercios o de 60 hercios (designada por las líneas A, B y C de las figuras).

- 25 La Figura 2 ilustra gráficamente las características de comportamiento del inversor mostrado en la Figura 1. Los parámetros son la magnitud la corriente de salida del inversor, $I_{salida(INV)}$, en amperios, en función de la frecuencia; la magnitud de la potencia de salida del inversor, $P_{salida(INV)}$, en kilovatios, en función de la frecuencia; la magnitud de la tensión de salida del inversor, $V_{salida(INV)}$, en voltios, en función de la frecuencia; la corriente CC máxima, I_{max} , en amperios; la potencia de salida máxima del inversor, P_{max} , en kilovatios; y la tensión de salida máxima del inversor, V_{max} , en voltios.

- 30 El estado operativo nominal (máximo) se define como la intersección de las curvas identificadas por la línea de funcionamiento L_2 . El estado operativo resonante se define por los valores mínimos de la tensión, la corriente y la potencia de salida del inversor, según se definen por la línea de funcionamiento L_1 . La tensión de salida del inversor a través de la carga resonante puede ser expresada por la fórmula:

- 35
$$V_{inv} = \frac{V_{cc}}{0,9 \cdot \cos \varphi}$$
, donde V_{inv} es la tensión de salida del inversor, V_{cc} es la tensión de CC aportada, y φ es el desplazamiento de fase entre la corriente y la tensión de salida del inversor.

La potencia de salida del inversor (P_{inv}) es proporcional al cuadrado de la tensión del inversor: $P_{inv} \approx V_{inv}^2$.

- 40 En consecuencia, para aumentar la potencia, la carga resonante operará fuera de resonancia, con un incremento de la reducción de la eficiencia a medida que la magnitud de la potencia aumenta. A fin de reducir la potencia de salida del inversor hasta un nivel más bajo que el de la resistencia, la salida de CC del rectificador se reduce mediante control de fase de los conmutadores del rectificador.

El documento JP 2002 313547 divulga un circuito de sincronización de frecuencia para un inversor y un circuito troceador, los cuales se sincronizan a múltiples frecuencias generadas por un oscilador con el fin de evitar un mal funcionamiento de una lámpara de descarga.

- 45 El documento JP H08 273867 divulga un dispositivo de calentamiento por inducción de tipo transversal que emplea un par de bobinas de calentamiento múltiples de tipo transversal, dispuestas a través de la anchura de una tira de material metálico que se va a calentar por inducción.

- 50 Es un propósito de la presente invención proporcionar un control de potencia de un inversor alimentado en corriente, a la vez que se mantiene la carga en la resonancia, por medios distintos de un control de la fase de un rectificador de entrada. Es otro propósito de la presente invención minimizar el tamaño de los componentes reactivos que se utilizan en el inversor.

Otro propósito de la presente invención consiste en proporcionar una mezcla uniforme de un material conductor de la electricidad, tal como un baño de metal fundido, colocado dentro de un horno de inducción.

Es otro propósito de la presente invención maximizar el área superficial del baño fundido que se expone al entorno

ambiental, particularmente cuando ese entorno es sustancialmente un vacío, a fin de favorecer la liberación de gases modulando el menisco convexo que forma el área superficial.

Breve compendio de la invención

5 En un aspecto, la presente invención es un aparato para, así como un método para, controlar la magnitud de la potencia de salida de un inversor alimentado en corriente mediante la regulación del ciclo de trabajo de la corriente CC aportada a la entrada del inversor, de tal manera que el periodo del ciclo de trabajo del regulador se sincroniza con el periodo de la corriente de salida del inversor, de forma que hay dos periodos del regulador para cada periodo de corriente de salida individual del inversor. La regulación del ciclo de trabajo puede proporcionarse por un único impulso en el periodo del regulador, o bien por una serie de impulsos en el periodo del regulador. Puede proporcionarse una magnitud de la potencia de salida mayor que la disponible para un ciclo de trabajo completo (unitario), al hacer funcionar el inversor en condiciones fuera de la resonancia.

Los anteriores y otros aspectos de la invención se establecen en esta memoria y en las reivindicaciones que se acompañan.

Breve descripción de los dibujos

15 El breve compendio anterior, así como la descripción detallada que sigue de la invención, se comprenderán mejor al leerse en combinación con los dibujos que se acompañan. Para el propósito de ilustrar la invención, se muestran en los dibujos formas proporcionadas a modo de ejemplo de la invención que son presentemente preferidas; sin embargo, la invención no está limitada a las realizaciones e instrumentalidades específicas representadas en los siguientes dibujos que se acompañan:

20 La Figura 1 es un diagrama esquemático y simplificado de una fuente suministro de energía alimentada en corriente convencional.

La Figura 2 es un gráfico de los parámetros operativos típicos de la fuente de suministro de energía mostrada en la Figura 1.

25 La Figura 3 un diagrama esquemático y simplificado de un ejemplo de una fuente de suministro de energía, con un inversor alimentado en corriente de la presente invención conectado a una carga resonante.

La Figura 4 es un diagrama esquemático y simplificado de otro ejemplo de fuente de suministro de energía de la presente invención, en la cual múltiples inversores alimentados en corriente, cada uno de ellos individualmente regulado, están, cada uno de ellos, conectados a una carga resonante diferente y a un único rectificador.

30 La Figura 5 es un diagrama esquemático y simplificado de otro ejemplo de fuente de suministro de energía de la presente invención, en la que múltiples inversores alimentados en corriente, regulados por un regulador común, están conectados, cada uno de ellos, a una carga resonante diferente y a un único rectificador.

La Figura 6(a) y la Figura 6(b) ilustran gráficamente el comportamiento de un regulador de un único impulso y de múltiples impulsos para uno de los ejemplos de fuentes de suministro de energía para inversor alimentado en corriente de la presente invención.

35 La Figura 7(a) y la Figura 7(b) ilustran gráficamente parámetros para ciclo de trabajo unitario / resonancia y ciclo de trabajo unitario / fuera de resonancia, de un ejemplo de los inversores alimentados en corriente de la presente invención.

La Figura 8 es un diagrama esquemático y simplificado de otro ejemplo de fuente de suministro de energía con un inversor alimentado en corriente de la presente invención.

40 La Figura 9(a) y la Figura 9(b) son ilustraciones esquemáticas de una disposición de calentamiento, fusión y agitación por inducción eléctrica, que utiliza fuentes de suministro de energía mostradas en la Figura 8.

La Figura 10(a) y la Figura 10(b) son ilustraciones esquemáticas y simplificadas de una disposición de calentamiento, fusión y agitación por inducción eléctrica, que utiliza la fuente de suministro de energía mostrada en la Figura 8.

45 La Figura 10(c) es una ilustración de un ejemplo de conmutador de puente de diodos que se utiliza en la disposición mostrada en la Figura 9(a), en la Figura 9(b) y en los esquemas de la Figura 10(a) y de la Figura 10(b).

La Figura 11(a) es una ilustración de una disposición de la presente invención para agitación por inducción eléctrica.

La Figura 11(b) es una ilustración de un ejemplo de la presente invención en el que se modula la superficie de menisco convexa de un material de metal fundido contenido en el crisol.

50 La Figura 12(a) y la Figura 12(b) ilustran, respectivamente, convenciones de designación convencionales para configuraciones de bobina de arrollamiento y contraarrollamiento.

Descripción detallada de la invención

En la Figura 3 se ilustra un ejemplo de la fuente de suministro de energía 10 de la presente invención. La fuente de suministro de energía comprende tres secciones activas, a saber: un rectificador 12, un regulador de potencia 14 y un inversor de corriente 16. Elementos de reducción interarmónicos opcionales, ilustrados en la Figura 3 como inductancias pasivas (bobinas de ahogo), L_{irr} , conectan la salida del rectificador al regulador de potencia. Unos elementos de almacenamiento de energía, ilustrados en la Figura 1 como inductancias pasivas (bobinas de ahogo), L_i , conectan la salida del regulador de potencia a la entrada del inversor.

La entrada al rectificador trifásico 12 se produce desde una fuente de CA adecuada, por ejemplo, una fuente de energía de red de 50 hercios o 60 hercios (designada por las líneas A, B y C en la figura). El rectificador 12 comprende un rectificador controlado en fase y de onda completa que comprende seis dispositivos de conmutación, tales como rectificadores controlados de silicio SCR_1 a SCR_6 , en este ejemplo no limitativo. En otros ejemplos de la invención, el rectificador puede ser un diseño controlado en fase de media onda, u otro tipo adecuado. Como se explicará adicionalmente más adelante, el rectificador funciona como un rectificador de tensión constante, excepto para un arranque suave de la fuente de suministro de energía, a fin de evitar la sobrecarga inicial del dispositivo de almacenamiento de energía del regulador, el cual se representa por un elemento capacitivo, C_0 , en la Figura 3.

El inversor 16 comprende cuatro dispositivos de conmutación, los cuales, en este ejemplo no limitativo, se han configurado como un puente en H. Cada dispositivo de conmutación se ha ilustrado simbólicamente como un transistor bipolar de puerta aislada (IGBT –“insulated gate bipolar transistor”–) en serie con un diodo, si bien pueden utilizarse otros tipos de dispositivos de conmutación y de configuraciones de puente en otros ejemplos de la presente invención. Generalmente, en el funcionamiento de estado estacionario, el par de conmutadores S_1 y S_4 del inversor conducen para un semiciclo eléctrico (es decir, el semiciclo positivo) y el par de conmutadores S_2 y S_3 del inversor conducen para el siguiente semiciclo eléctrico (esto es, el semiciclo negativo), a fin de entregar corriente CA a un circuito de carga resonante, el cual puede comprender un horno de inducción eléctrica, o una bobina de calentamiento, representada esquemáticamente por el elemento inductivo L_{bobina} , en serie con un elemento resistivo R que generalmente representa la impedancia de la carga acoplada magnéticamente y que se está fundiendo o calentando, y un condensador de tanque (resonante) C_{tanque} , conectado en paralelo con la combinación en serie de L_{bobina} y R para formar una carga resonante «RLC». Conforme cambia la impedancia de la carga resonante, la frecuencia de salida del inversor 16 es ajustada por el controlador 18 para mantener el inversor funcionando en o, cerca de, la resonancia, a fin de maximizar la transferencia de potencia al circuito de carga resonante mediante el control de puerta de los dispositivos de conmutación del inversor.

El controlador 18 controla la duración y las frecuencias de los dispositivos de conmutación del inversor y del dispositivo de conmutación S_0 del regulador, que también se ha ilustrado simbólicamente como un IGBT, pero puede ser cualquier otro tipo adecuado de dispositivo de conmutación. En la fuente de suministro de energía de la presente invención, el regulador 14 es sincronizado con la frecuencia de salida del inversor por el controlador 18, de tal manera que el periodo del regulador en el que S_0 no conduce (el dispositivo de conmutación S_0 está abierto), se aporta corriente al inversor desde la energía almacenada en las bobinas de ahogo L_i . La magnitud de la potencia de salida es controlada por el ciclo de trabajo del conmutador S_0 , es decir, la relación entre el periodo de tiempo en que el conmutador S_0 está activo, o en un estado conductor, y el periodo de tiempo en que el conmutador está inactivo o en un estado no conductor. A medida que el ciclo de trabajo disminuye, la componente de rizo de corriente CA de la corriente de entrada al inversor de CC aportada desde las bobinas de ahogo L_i , aumenta; en consecuencia, si se utiliza un único impulso regulador en cada periodo regulador, la bobina de ahogo L_1 debe haberse diseñado como una bobina de ahogo de alta capacidad de almacenamiento, con un gran valor de la inductancia eléctrica, y, en consecuencia, con un gran tamaño físico. A fin de minimizar el tamaño de la bobina de ahogo, para ciclos de trabajo más bajos, se proporcionan múltiples impulsos de regulación activos / inactivos dentro del periodo del regulador, en algunos ejemplos de la presente invención.

Mientras que el regulador 14 funciona en un semiperiodo del inversor 16, el regulador 14 funciona con un ciclo de trabajo variable dentro del periodo del regulador, en funcionamiento de estado estacionario. Por ejemplo, el conmutador S_0 del regulador puede estar conduciendo durante solo el 80 por ciento del periodo del regulador (ciclo de trabajo de 0,8), tiempo durante el cual el dispositivo de almacenamiento de energía del regulador, que, en este ejemplo no limitativo, se ha representado por la inductancia de almacenamiento de energía (bobina de ahogo), L_i , se carga desde el elemento capacitivo C_0 , que está continuamente cargado por la energía de la red rectificada. Durante el periodo del regulador en el que S_0 no conduce (el dispositivo de conmutación S_0 está abierto), se aporta corriente al inversor desde la energía almacenada en las bobinas de ahogo L_i . La magnitud de la potencia de salida es controlada por el ciclo de trabajo del conmutador S_0 , es decir, la relación entre el periodo de tiempo en que el conmutador S_0 está activo, o en un estado conductor, y el periodo de tiempo en que el conmutador está inactivo o en un estado no conductor. A medida que el ciclo de trabajo disminuye, la componente de rizo de corriente CA de la corriente de entrada al inversor de CC aportada desde las bobinas de ahogo L_i , aumenta; en consecuencia, si se utiliza un único impulso regulador en cada periodo regulador, la bobina de ahogo L_1 debe haberse diseñado como una bobina de ahogo de alta capacidad de almacenamiento, con un gran valor de la inductancia eléctrica, y, en consecuencia, con un gran tamaño físico. A fin de minimizar el tamaño de la bobina de ahogo, para ciclos de trabajo más bajos, se proporcionan múltiples impulsos de regulación activos / inactivos dentro del periodo del regulador, en algunos ejemplos de la presente invención.

La magnitud de la corriente que fluye a través del conmutador S_0 del regulador, para ciclos de trabajo bajos, es significativamente menor que la corriente que fluye a través del conmutador S_0 del regulador para ciclos de trabajo elevados. En consecuencia, las pérdidas de conmutación en el conmutador S_0 serán menores para ciclos de trabajo bajos. En la presente invención, se aprovechan las menores pérdidas de conmutación para ciclos de trabajo bajos al

proporcionar corriente al inversor en múltiples impulsos de activación / desactivación dentro del periodo regulador del regulador, a fin de proporcionar la misma magnitud de rizo de corriente que la del rizo de corriente que se aportaría con un impulso de ciclo de trabajo bajo. Esta disposición hace posible una reducción significativa de la cualificación o dimensionamiento eléctrico requerido para la bobina de ahogo L_i , ya que los impulsos más frecuentes en un ciclo de trabajo bajo requieren una capacidad de almacenamiento de energía significativamente menor en la bobina de ahogo L_i , puesto que esa energía almacenada constituirá la fuente de corriente hacia el inversor cuando el dispositivo de conmutación S_0 no esté conduciendo durante intervalos más cortos. Un algoritmo de control adecuado, pero no limitativo, es como sigue:

$$N = \frac{W_{max} - W_{cond}}{W_{conm}},$$

donde N es igual al número de impulsos de regulador permitidos en un periodo del regulador;

W_{max} es igual a la máxima disipación de potencia permitida especificada para un conmutador S_0 de regulador seleccionado;

W_{cond} es igual a las pérdidas de conducción especificadas para un conmutador S_0 de regulador seleccionado; y

W_{conm} es igual a las pérdidas de conmutación calculadas con un único impulso de ciclo de trabajo de activación / desactivación de regulador, en un periodo del regulador.

Por lo tanto, por ejemplo, para una magnitud de potencia de salida del inversor deseada en la resonancia, que requiere un único ciclo de trabajo de activación / desactivación del regulador de 0,3, W_{conm} se calcula para la corriente del conmutador S_0 para un ciclo de trabajo de 0,3, y el N máximo para el ciclo de trabajo de 0,3 se calcula por medio de la ecuación anterior, utilizando las W_{max} y W_{cond} especificadas par el conmutador S_0 seleccionado.

A modo de ilustración y no como limitación, la Figura 6(a) y la Figura 6(b) ilustran gráficamente la regulación de impulso individual frente a la de múltiples impulsos, por ejemplo, en un ciclo de trabajo de 0,3. En ambas figuras, t_{inv} representa el periodo de la frecuencia de salida del inversor, y t_{reg} representa el periodo del regulador, que es la mitad del periodo de la frecuencia de salida del inversor. En la Figura 6(a), no es preferible un único impulso de regulador en cada periodo del regulador, t_{reg} , como se ha explicado anteriormente; se prefieren múltiples impulsos del regulador, como se ha ilustrado por los impulsos del regulador de la Figura 6(b). El número de impulsos de un periodo de regulador variará dependiendo del intervalo de la corriente de inversor requerida y de las pérdidas de conmutación de un conmutador de regulador particular que se utilice en una aplicación. Se utilizan cinco impulsos regulares en la Figura 6(b) en aras de la claridad. Generalmente, el número de impulsos por cada periodo del regulador puede variar desde dos hasta cientos de ellos, dentro de un intervalo de ciclo de trabajo desde menos de una unidad hasta mayor que cero, respectivamente.

En caso de que se requiera más potencia de salida del inversor que la que se tiene con un ciclo de trabajo de 1,0 en la resonancia, es posible proporcionar potencia de salida adicional aumentando la frecuencia de salida del inversor, lo que aportará más potencia, pero no en la resonancia. La Figura 7(a) y la Figura 7(b) ilustran gráficamente parámetros de inversor en el ciclo de trabajo unitario / resonancia y en el ciclo de trabajo unitario / fuera de resonancia, respectivamente, cuando puede proporcionarse mayor potencia de salida del inversor. La Figura 7(a) ilustra la magnitud de la potencia de salida resonante del inversor, de valor P_2 , que es mayor que la magnitud de potencia P_1 , con un ciclo de trabajo igual a 1,0 en la resonancia. La Figura 7(b) ilustra la magnitud de la potencia de salida fuera de resonancia del inversor, de valor P_3 , que es más grande que la magnitud de potencia P_2 , con un ciclo de trabajo igual a 1,0 y un desplazamiento de fase (ϕ) entre la corriente y la tensión de salida del inversor.

Para una aplicación en horno de inducción eléctrica sin vacío, los componentes de una fuente de suministro de energía provista del inversor alimentado en corriente de la presente invención estarán generalmente dimensionados completamente para una salida de potencia máxima en el intervalo de potencia fuera de la resonancia; y, para una aplicación en horno de inducción eléctrica de vacío, los componentes de una fuente de suministro de potencia provista del inversor alimentado en corriente de la presente invención, estarán generalmente dimensionados completamente para una potencia máxima en un funcionamiento resonante con un ciclo de trabajo unitario.

En otro ejemplo de fuente de suministro de energía con inversores alimentados en corriente de la presente invención, según se ilustra en la Figura 4, múltiples inversores 16 y 16', cada uno de los cuales tiene un conmutador regulador dedicado (S_0 y S'_0) y diodo (D_0 y D'_0) pueden ser alimentados en energía desde un único rectificador 12 y un único dispositivo de almacenamiento de energía, el condensador C_0 , que está conectado a la salida del rectificador. En esta disposición, puede conseguirse una distribución controlada y repartida de la potencia entre múltiples cargas resonantes CARGA 1 y CARGA 2 por medio de una regulación de impulsos individuales de los inversores 16 y 16', como se ha descrito en lo anterior, sometidos a una salida de potencia total máxima establecida por el dimensionamiento del rectificador 12. Si bien se han mostrado en la Figura 4 dos circuitos inversores / de carga, es posible utilizar un número cualquiera de circuitos inversores / de carga.

En otro ejemplo de fuente de suministro de energía con inversores alimentados en corriente de la presente invención, tal como se ilustra en la Figura 5, múltiples inversores 16 y 16', cada uno de los cuales sirve a cargas resonantes de

uso exclusivo, o dedicadas, CARGA 1 y CARGA 2, respectivamente, pueden ser alimentados en potencia selectivamente desde el regulador único 14, el cual está conectado a la salida de un rectificador que funciona con una salida de onda completa, tal y como se ha descrito anteriormente. Con los conmutadores S_1 , S_3 , S'_1 y S'_4 conduciendo, y los conmutadores S_2 , S_4 , S'_2 y S'_3 no conduciendo, se aplica corriente a la CARGA 2, pero no se aplica a la CARGA 1, por ejemplo, para un semiciclo eléctrico; al tiempo que, en el siguiente semiciclo eléctrico, los conmutadores S_2 , S_4 , S'_2 y S'_3 están conduciendo, y los conmutadores S_1 , S_3 , S'_1 y S'_4 no están conduciendo para continuar el aporte de corriente a la CARGA 2.

Si bien los esquemas de conmutación se han descrito generalmente en lo anterior para el calentamiento y la fusión inductivos, en otros ejemplos de la invención, los esquemas de conmutación pueden ser utilizados para llevar a efecto patrones de agitación inducidos cuando se utilizan como inversor en una aplicación de horno de inducción. Semejante aplicación se ilustra en el ejemplo no limitativo mostrado en la Figura 8, en la Figura 9(a) y en la Figura 9(b). La Figura 8 es un ejemplo de fuentes de suministro de energía de CA 20a, 20b y 20c que se utilizan para aportar potencia a cada una de tres bobinas de inducción, a saber, la bobina inferior 22a, la bobina intermedia 22b y la bobina superior 22c, que rodean el crisol 90. Se han dispuesto unos condensadores de tanque C_{T1} , C_{T2} y C_{T3} a la salida de cada fuente de suministro de energía. Cada condensador puede tener un valor de capacidad diferente. Los elementos resistivos R_1 , R_2 y R_3 representan la resistencia de una carga acoplada magnéticamente al ser calentada, fundida o agitada dentro del crisol 90 que está rodeado por cada sección de bobina. Se utilizan unos conmutadores SW_1 y SW_2 para equilibrar las corrientes de las bobinas cuando los conmutadores se cierran en el modo fundido, según se muestra en la Figura 9(a). Con tanto SW_1 como SW_2 cerrados, la orientación que se establece del flujo magnético es como se ilustra por la línea de flujo típica 94. Una ventaja de esta disposición es que cada conmutador puede tener un dimensionamiento de corriente continua de aproximadamente el 10 por ciento del dimensionamiento de plena corriente (potencia) del crisol, ya que las impedancias de las secciones de bobina de inducción del horno son de valor similar, con una desviación típica entre bobinas de menos del 10 por ciento. Los conmutadores SW_1 y SW_2 pueden ser de un tipo mecánico o eléctrico. Los conmutadores SW_1 y SW_2 pueden combinarse en un único dispositivo de conmutación adecuadamente dispuesto. En la Figura 10(c) se ilustra un conmutador electrónico, convencional, pero no limitativo, como un conmutador de SCR de puente de diodos. La corriente entre las secciones de bobina es relativamente baja, lo que favorece la aplicación de dispositivos de conmutación electrónicos. Con las condiciones operativas identificadas anteriormente, el patrón de agitación electromagnética inducida puede ser representado por las líneas de flujo 92a proporcionadas a modo de ejemplo en la Figura 9(a), que constituyen una configuración de flujo en anillo de doble vórtice, o de vórtice toroidal, con anillos de vórtice independientes en las mitades inferior y superior del crisol.

Más generalmente, cada bobina de inducción representada en la Figura 9(a) y en la Figura 9(b) puede ser definida de manera que tiene una primera terminación de extremo, o «inicial», y una segunda terminación de extremo, o «final». Por ejemplo, en la Figura 12(a), si la bobina de inducción 70 representa una bobina de inducción orientada en su arrollamiento (ascendiendo de derecha a izquierda en torno al crisol 90), y, en la Figura 12(b), la bobina de inducción 72 representa una bobina de inducción orientada en su arrollamiento en sentido contrario (ascendiendo de izquierda a derecha en torno al crisol 90), los terminales inicial y final de cada bobina pueden designarse como se muestra en las figuras. Alternativamente, como se muestra en la Figura 9(a) y en la Figura 9(b), los terminales iniciales de las bobinas de inducción 22a, 22b y 22c pueden designarse con un símbolo de una «estrella inscrita en un círculo», tal y como se muestra en las figuras, que indica, por ejemplo, en este ejemplo no limitativo de la invención, que la bobina 22a y la bobina 22c están arrolladas con una cierta orientación y la bobina 22b está arrollada con la orientación contraria, o viceversa. Haciendo uso de esta convención, los terminales iniciales de las tres bobinas de inducción son conectados selectivamente entre sí únicamente cuando los conmutadores SW_1 y SW_2 se cierran, en tanto que los terminales finales de las tres bobinas de inducción están siempre conectados entre sí en común. En otros ejemplos de la invención, pueden utilizarse más de tres bobinas de inducción, de manera que los terminales iniciales de la totalidad de las bobinas de inducción se conectan entre sí selectivamente por uno o más dispositivos de conmutación, y los terminales finales de todas las bobinas de inducción siempre están conectados entre sí en común, o viceversa.

En el modo de agitación, dos cualesquiera de las tres fuentes de suministro de energía pueden establecerse en un estado quiescente, de manera que las salidas de esas dos de las tres fuentes de suministro de energía son cero, de tal manera que el condensador de tanque, la resistencia y la sección de bobina asociada con cada fuente de suministro de energía en estado quiescente forman un circuito de RLC en paralelo. En el modo de agitación, tanto el SW_1 como el SW_2 están abiertos. En la Figura 9(b) y en la Figura 10(b), la fuente de suministro de energía 20a se selecciona como la activa, y las fuentes de suministro de energía 20b y 20c están inactivas o en el estado quiescente (ilustrado dibujando estas dos fuentes de suministro de energía en líneas discontinuas). En consecuencia, la corriente de salida desde la fuente de suministro de energía 20a que fluye a través de la bobina 22a genera un campo magnético representado por líneas de flujo típicas 98a. Este campo magnético se acopla (lo que se representa esquemáticamente por «M») con el circuito de RLC formado por la bobina 22b, la resistencia R_2 y el condensador C_{T2} , lo que, a su vez, da como resultado un flujo de corriente inducido a través de la bobina 22b que genera un campo magnético secundario representado por la línea de flujo típica 98b. El campo magnético secundario se acopla con el circuito de RLC formado por la bobina 22c, la resistencia R_3 y el condensador C_{T3} , lo que, a su vez, da como resultado un flujo de corriente inducida a través de la bobina 22c que genera un campo magnético secundario representado por la línea de flujo típica 98c. La combinación de estos campos magnéticos inducidos generará una configuración de flujo electromagnético en el seno del material conductor de la electricidad fundido situado dentro del crisol, tal como se muestra en la Figura 9(b). El patrón de agitación electromagnética inducido puede ser representado por las líneas de flujo 92b proporcionadas a modo de

ejemplo en la Figura 9(b), a fin de crear una configuración de flujo en anillo de un único vórtice dentro del crisol, con una configuración de flujo descendente en torno al eje polar (circular) Z del anillo, o rotación polar en el sentido antihorario, o contrario al del giro de las agujas del reloj. Esta disposición de agitación resulta particularmente útil cuando se añade carga adicional al material fundido, tal como virutas de metal 94, como se ilustra en la Figura 11(a), de tal modo que la carga añadida es absorbida rápidamente en el seno del material fundido. La rotación polar puede ser invertida al sentido horario, o de giro de las agujas del reloj, al activar la fuente de suministro de energía 20c y desactivar las fuentes de suministro de energía 20a y 20b. En algunos ejemplos de la invención, el hecho de alternar o hacer ondular la magnitud de la potencia de salida de la fuente de suministro de energía 20c puede emplearse para agitar (modular) la altura del menisco convexo 80 que define la superficie del baño de metal fundido, por ejemplo, desde el menisco 80 a 80a, tal como se muestra en la Figura 11(b), a fin de exponer una mayor área superficial de metal fundido a la atmósfera ambiental. Esto es de particular importancia cuando la aplicación es un horno de vacío y la atmósfera ambiental es un vacío. El hecho de aumentar el área superficial de metal fundido expuesto al vacío por encima de la superficie aumenta la eficiencia de la liberación de gases.

El ejemplo de la invención mostrado en la Figura 9(a) y en la Figura 9(b) puede ser utilizado en aplicaciones de horno de inducción tanto de vacío como sin vacío, y también en un proceso por lotes, en el que el crisol está inicialmente lleno de un material conductor de la electricidad sólido y/o semisólido, o en un proceso en talón, en el que carga sólida o semisólida conductora de la electricidad se añade gradualmente al talón existente en el fondo del crisol. Por lo común, se utiliza el modo de fusión y calentamiento (Figura 9(a) y Figura 10(a)) para fundir inicialmente la totalidad del material conductor de la electricidad del interior del crisol. Entonces, se utiliza el modo de agitación (Figura 9(b) y Figura 10(b)), por ejemplo, para mejorar el calentamiento por conducción a través del baño fundido; y/o para favorecer la liberación de gases del baño fundido al hacer circular el volumen del baño fundido de manera tal, que la superficie del baño fundido está continuamente cambiando a fin de favorecer la transferencia de gases desde el material fundido a la atmósfera ambiental o el vacío; y/o para favorecer la disolución de la carga adicional añadida al baño fundido al absorberla al interior del vórtice central descendente identificado como el eje Z en la Figura 9(b).

Si bien se han mostrado en los anteriores ejemplos de la invención tres secciones de bobina de inducción, pueden utilizarse otras cantidades de secciones de bobina en otros ejemplos de la invención.

Los anteriores ejemplos de la invención se han propuesto meramente para propósitos explicativos y no deben interpretarse de ningún modo como limitativos de la presente invención. Aunque la invención se ha descrito con referencia a diversas realizaciones, las palabras que se utilizan en esta memoria son palabras para descripción e ilustración, antes que palabras limitativas. Si bien la invención se ha descrito en esta memoria con referencia a significados, materiales y realizaciones particulares, no es el propósito que la invención esté limitada a los particulares divulgados en esta memoria; antes bien, la invención se extiende a todas las estructuras, métodos y usos funcionalmente equivalentes, en la medida en que se encuentren dentro del alcance de las reivindicaciones que se acompañan. Los expertos de la técnica, en posesión de los beneficios de las enseñanzas de esta memoria, pueden llevar a efecto numerosas modificaciones en la misma, y pueden realizarse cambios sin apartarse del alcance de la invención, de acuerdo con las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1.- Una fuente de suministro de energía (10) para al menos una carga resonancia de RLC de horno de inducción, de manera que la fuente de suministro de energía comprende:

5 un rectificador de CA a CC (12), que tiene una entrada de rectificador conectada una fuente de CA (A, B, C) y una salida de CC de rectificador;

al menos un dispositivo de almacenamiento de carga (C_0), conectado a la salida de CC del rectificador;

10 al menos un regulador (14), de tal modo que cada uno del al menos un regulador tiene una salida de regulador con un periodo de salida de CC del regulador y un ciclo de trabajo de salida variable, dentro del periodo de salida de CC del regulador, de manera que cada uno del al menos un regulador está conectado al al menos un dispositivo de almacenamiento de carga (C_0);

al menos un dispositivo de almacenamiento de corriente (L_1), de tal modo que cada uno del al menos un dispositivo de almacenamiento de corriente está exclusivamente conectado a la salida de regulador de uno del al menos un regulador (14); y

15 al menos un inversor de puente en H (16), de tal modo que cada uno del al menos un inversor de puente en H tiene una entrada de inversor conectada exclusivamente a uno del al menos un dispositivo de almacenamiento de corriente (L_1), de manera que cada uno del al menos un inversor de puente en H tiene una salida de CA de inversor conectada exclusivamente a una de la al menos una carga resonante de RLC de horno de inducción, teniendo la salida de CA del inversor un periodo de salida de CA de inversor,

caracterizada por

20 un controlador (18), en combinación con el al menos un regulador (14) para controlar el al menos un inversor de puente en H con el fin de conseguir que un periodo de salida de CA de cada uno del al menos un inversor de puente en H (16) sea igual a dos veces el periodo de salida de regulador del al menos un regulador conectado al al menos un dispositivo de almacenamiento de corriente (L_1) conectado a la entrada de inversor de cada uno del al menos un inversor de puente en H (16), de tal manera que la salida de regulador de al menos uno del al menos un regulador se ha configurado para una pluralidad e impulsos dentro del ciclo de trabajo de salida variable, de forma que el número de la pluralidad de impulsos durante el ciclo de trabajo de salida variable es igual a la diferencia entre el valor de disipación de potencia de la disipación de potencia máxima permitida de un dispositivo de conmutación S_0 utilizado para regular el aporte de corriente CC desde el dispositivo de almacenamiento de carga, y el valor de las pérdidas de conducción del dispositivo de conmutación, y esta diferencia dividida por el valor de las pérdidas de conmutación con un único impulso equivalente durante el ciclo de trabajo, que proporcione la misma magnitud de rizo de corriente que con la pluralidad de impulsos.

2.- La fuente de suministro de energía de acuerdo con la reivindicación 1, en la cual la salida de CC del rectificador de CA a CC tiene una magnitud de tensión de salida controlada de forma variable.

35 3.- La fuente de suministro de energía de acuerdo con la reivindicación 1, en la cual el al menos un regulador (14) comprende una pluralidad de reguladores, el al menos un inversor de puente en H (16) comprende una pluralidad de inversores de puente en H, la al menos una carga resonante de RLC de horno de inducción comprende una pluralidad de cargas resonantes de RLC de horno de inducción, cada una de la pluralidad de cargas resonantes de RLC de horno de inducción está exclusivamente conectada a la salida de CA de inversor de uno de la pluralidad de inversores de puente en H, cada uno de la pluralidad de reguladores está exclusivamente conectado a al menos uno del al menos un dispositivo de almacenamiento de corriente (L_1), y la entrada de inversor de cada uno de la pluralidad de inversores de puente en H está exclusivamente conectada a al menos uno del al menos un dispositivo de almacenamiento de corriente, exclusivamente conectado a uno de la pluralidad de reguladores.

40 4.- La fuente de suministro de energía de acuerdo con la reivindicación 1, en la cual el al menos un regulador (14) comprende un par de reguladores, el al menos un inversor de puente en H (16) comprende un par de inversores de puente en H (16, 16'), la al menos una carga resonante de RLC de horno de inducción comprende un par de cargas resonantes de RLC de horno de inducción, de manera que cada una de las cargas resonantes de RLC de horno de inducción está exclusivamente conectada a la salida de CA de inversor de uno del par de inversores de puente en H (16, 16'), cada uno del par de reguladores está exclusivamente conectado a al menos uno del al menos un dispositivo de almacenamiento de corriente (L_1), y la entrada de inversor de cada uno del par de inversores de puente en H está conectada exclusivamente al al menos uno del al menos un dispositivo de almacenamiento de corriente (L_1) exclusivamente conectado a uno del par de reguladores.

50 5.- La fuente de suministro de energía de acuerdo con la reivindicación 1, en la cual el al menos un regulador comprende un único regulador (14), el al menos un inversor de puente en H comprende una pluralidad de inversores de puente en H (16, 16'), la al menos una carga resonante de RLC de horno de inducción comprende una pluralidad de cargas resonantes de RLC de horno de inducción, de tal manera que cada una de la pluralidad de cargas resonantes de RLC de horno de inducción está exclusivamente conectada a la salida de CA de inversor de uno de la

pluralidad de inversores de puente en H (16, 16'), el regulador único está conectado al al menos un dispositivo de almacenamiento de corriente (L_1), y las entradas de inversor de la totalidad de la pluralidad de inversores de puente en H (16, 16') están conectadas al al menos un dispositivo de almacenamiento de corriente (L_1).

5 6.- La fuente de suministro de energía de acuerdo con la reivindicación 1, en la cual la al menos una carga resonante de RLC de horno de inducción comprende al menos tres cargas resonantes de RLC de horno de inducción, de manera que cada una de las al menos tres cargas resonantes de RLC de horno de inducción tienen un elemento inductivo que comprende exclusivamente al menos una bobina de inducción, dispuesta en torno a un crisol que contiene un material conductor de la electricidad.

10 7.- La fuente de suministro de energía de acuerdo con la reivindicación 6, en la cual cada una de las al menos tres cargas resonantes de RLC de horno de inducción están conectadas exclusivamente a la salida de CA de inversor de uno del al menos un inversor de puente en H, la entrada de inversor de cada uno del al menos un inversor de puente en H está conectada exclusivamente a uno del al menos un dispositivo de almacenamiento de corriente, cada uno del al menos un dispositivo de almacenamiento de corriente está conectado exclusivamente a la salida de uno del al menos un regulador, y cada uno del al menos un regulador está conectado exclusivamente a un dispositivo de almacenamiento de carga conectado exclusivamente a la salida de CC de rectificador perteneciente al rectificador de CA a CC.

15 8.- La fuente de suministro de energía de acuerdo con la reivindicación 7, en la cual la totalidad de las al menos tres bobinas de inducción (22a, 22b, 22c) tienen sus terminales finales conectados en común y sus terminales iniciales selectivamente conectados unos con otros por al menos un dispositivo de conmutación (SW_1 , SW_2) para formar un circuito de RLC de horno de inducción en paralelo combinado, a partir de cada una de las al menos tres cargas resonantes de RLC de horno de inducción.

20 9.- La fuente de suministro de energía de acuerdo con la reivindicación 8, en la cual uno del al menos un inversor de puente en H se encuentra en el estado quiescente cuando el al menos un dispositivo de conmutación se abre.

25 10.- Un método para suministrar potencia a al menos una carga resonante de RLC de horno de inducción, de tal manera que el método comprende las etapas de:

aportar potencia de CC a un dispositivo de almacenamiento de carga (C_0);

30 regular un aporte de corriente CC con al menos un regulador (14) desde el dispositivo de almacenamiento de carga (C_0) a un dispositivo de almacenamiento de corriente (L_1) que aporta corriente CC a al menos un inversor de puente en H (16), de tal manera que cada uno del al menos un inversor de puente en H tiene una salida de inversor de CA conectada a una de la al menos una carga resonante de RLC de horno de inducción;

hacer funcionar cada uno del al menos un inversor de puente en H (16) a una frecuencia de salida de inversor que tiene un periodo de inversor;

caracterizado por

35 variar el ciclo de trabajo del aporte de corriente CC procedente del dispositivo de almacenamiento de carga (C_0) con el al menos un regulador (14) a lo largo de un periodo igual a la mitad del periodo del inversor; y generar una pluralidad de impulsos durante el ciclo de trabajo del aporte de corriente CC desde el dispositivo de almacenamiento de carga, de manera que el número de la pluralidad de impulsos durante el ciclo de trabajo es igual a la diferencia entre el valor de disipación de potencia de la disipación de potencia máxima permitida de un dispositivo de conmutación utilizado para regular el aporte de corriente CC desde el dispositivo de almacenamiento de carga, y el valor de las pérdidas de conducción del dispositivo de conmutación, y esta diferencia dividida por el valor de las pérdidas de conmutación con un único impulso equivalente durante el ciclo de trabajo, que proporcione la misma magnitud de rizo de corriente que con la pluralidad de impulsos.

40 11.- El método de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende adicionalmente la etapa de variar la magnitud de tensión de la potencia de CC aportada al dispositivo de almacenamiento de carga (C_0).

45 12.- El método de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende adicionalmente la etapa de rodear las regiones inferior, media y superior de un crisol que contiene un material electromagnéticamente conductor, con una bobina de inducción (22a, 22b, 22c) que comprende un elemento inductivo en cada una de la al menos una carga resonante de RLC de horno de inducción.

50 13.- El método de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende adicionalmente la etapa de incrementar la frecuencia de salida de inversor del al menos un inversor de puente en H (16) con el ciclo de trabajo unitario del aporte de corriente CC desde el dispositivo de almacenamiento de carga (C_0).

14.- El método de acuerdo con la reivindicación 12, que comprende adicionalmente la etapa de conectar cada una de las bobinas de inducción (22a, 22b, 22c) a los uno o más elementos de conmutación (SW_1 , SW_2) para conmutar selectivamente cada una de la al menos una carga resonante de RLC de horno de inducción entre circuitos de carga

resonante de RLC de horno de inducción independientes y circuitos de carga resonante de RLC de horno de inducción conectados en paralelo.

15.- El método de acuerdo con la reivindicación 14, que comprende adicionalmente la etapa de poner en quiescencia la salida de CA de inversor asociada con una de la al menos una carga resonante de RLC de horno de inducción.

5 16.- El método de acuerdo con la reivindicación 14, que comprende adicionalmente la etapa de poner en quiescencia la salida de CA de inversor del al menos un inversor de puente en H asociado con las cargas resonantes de RLC de horno de inducción que tienen como elementos inductivos las bobinas de inducción intermedia (22b) e inferior (22a).

10 17.- El método de acuerdo con la reivindicación 15, que comprende adicionalmente la etapa de variar la magnitud de la potencia de salida de inversor del al menos un inversor de puente en H asociado con la carga resonante de RLC de horno de inducción que tiene como elementos inductivos la bobina de inducción superior (22c).

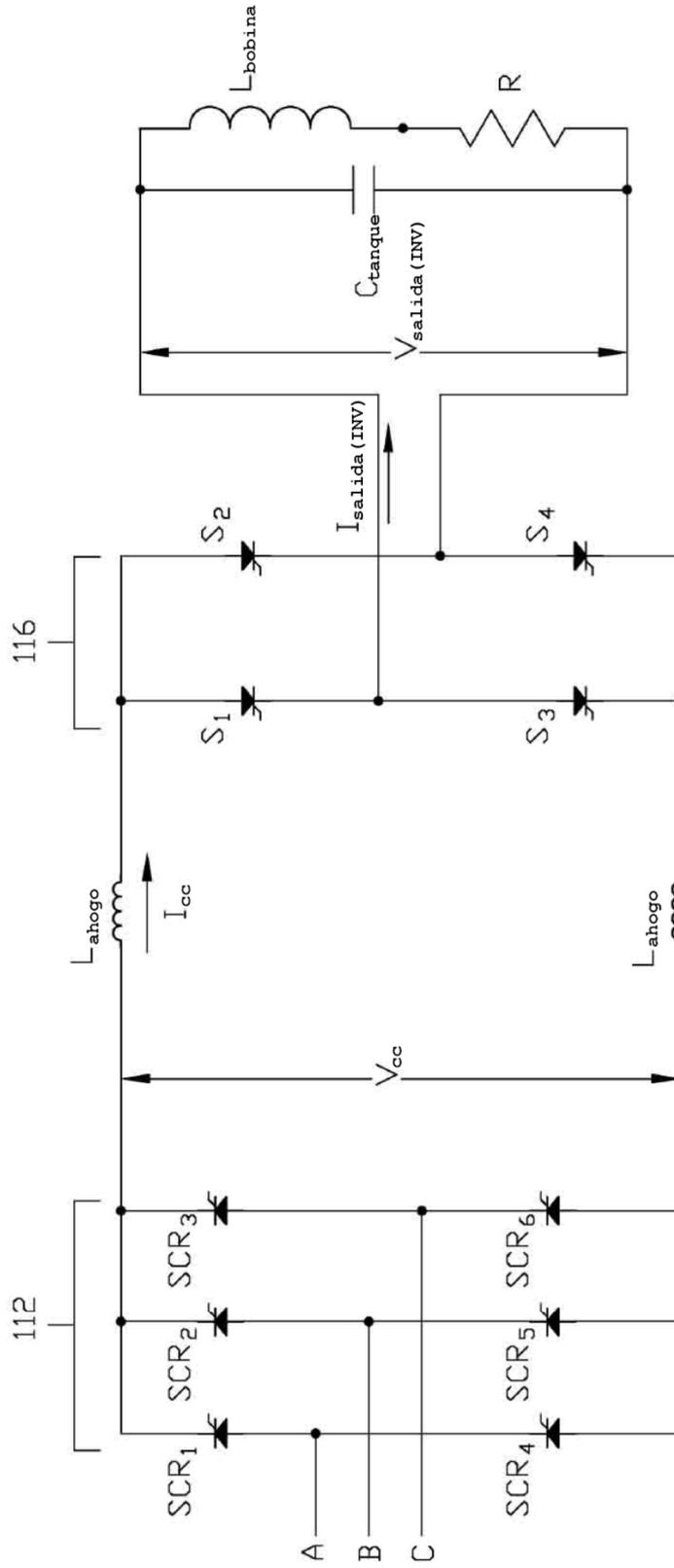
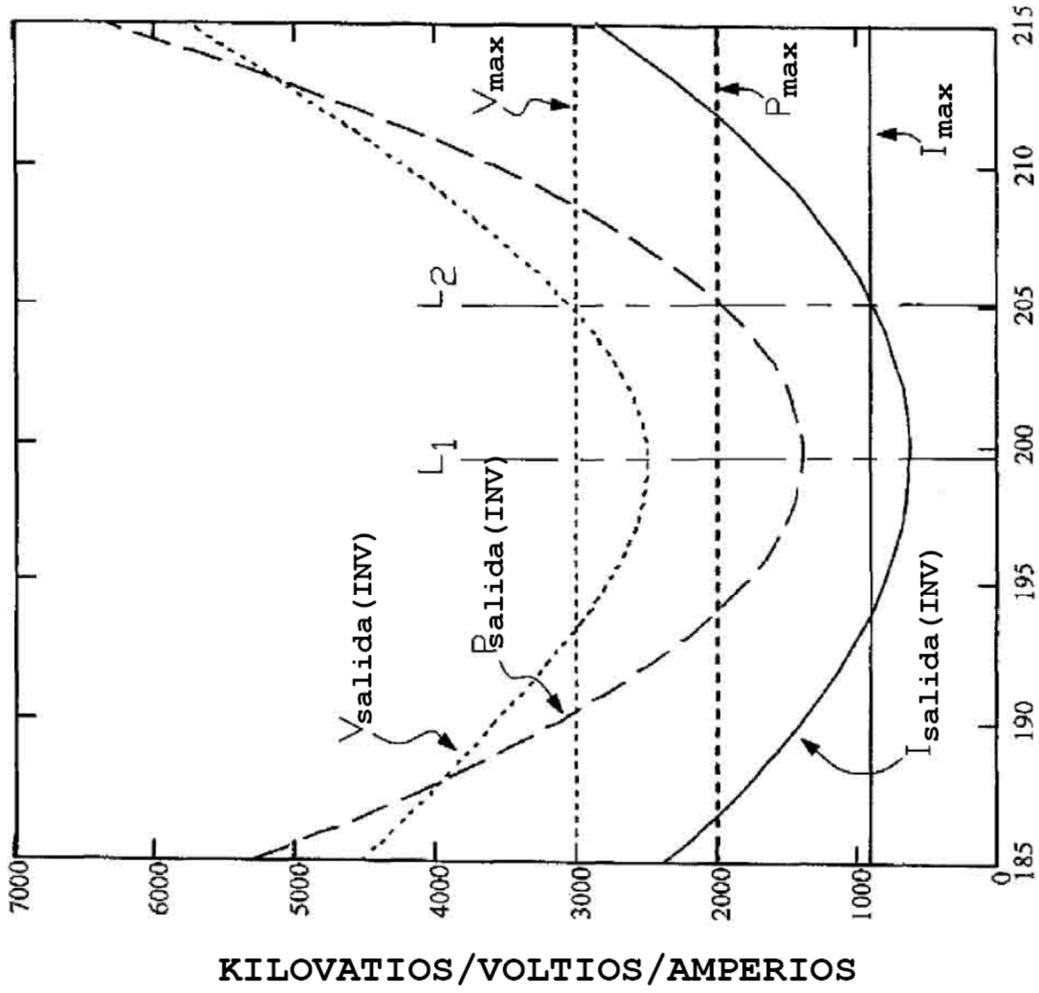


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR



FRECUENCIA (HERCIOS)

FIG. 2

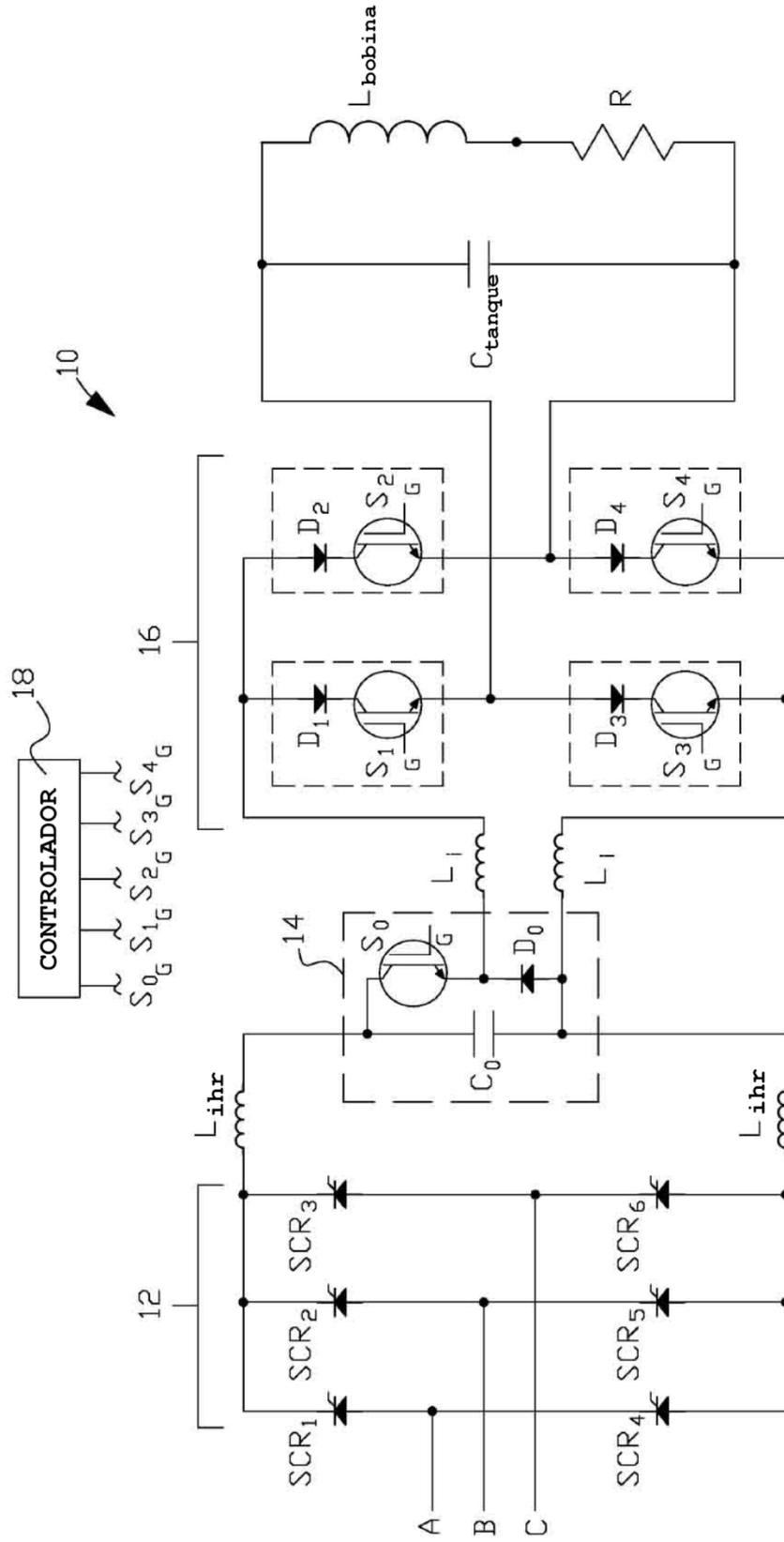


FIG. 3

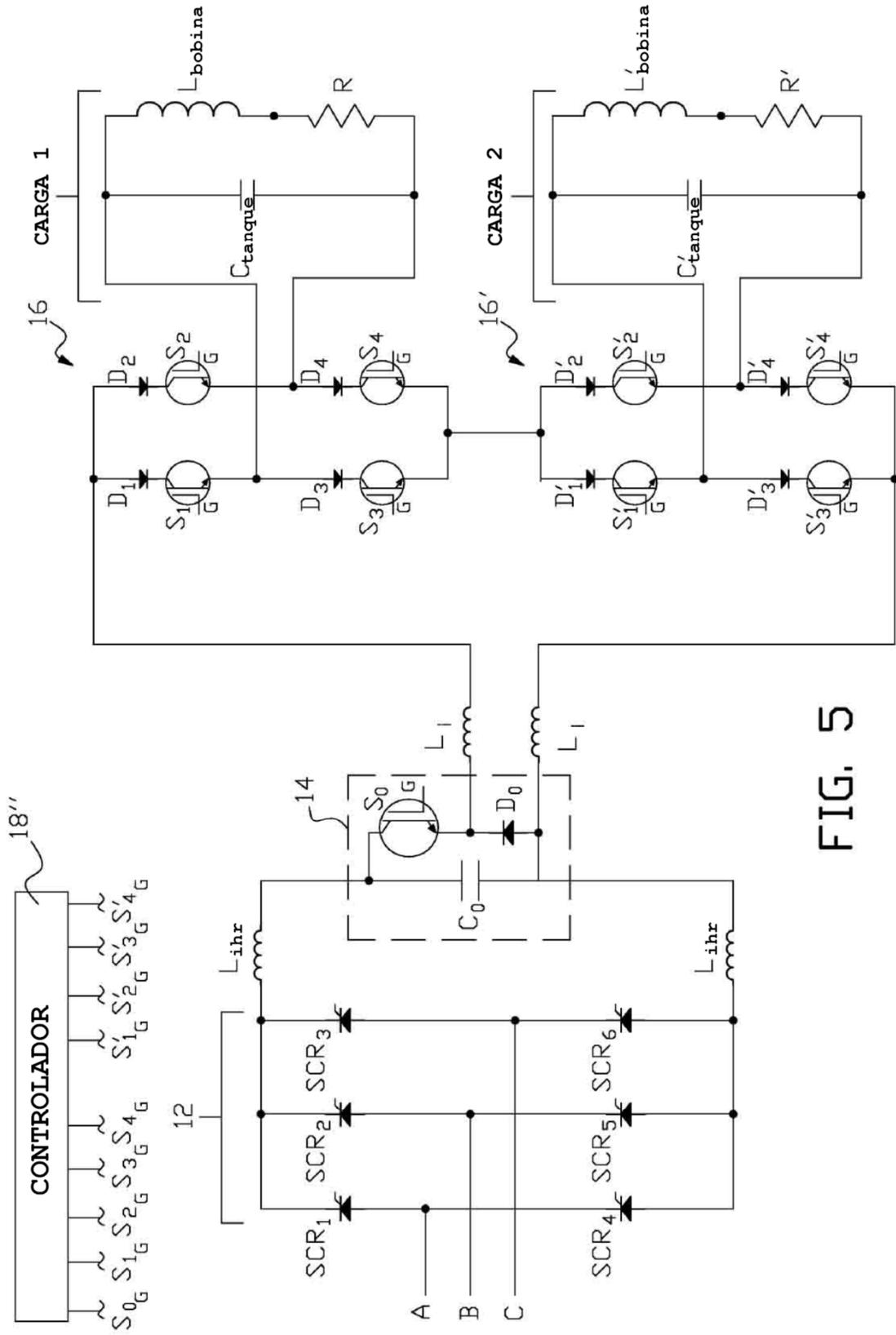


FIG. 5

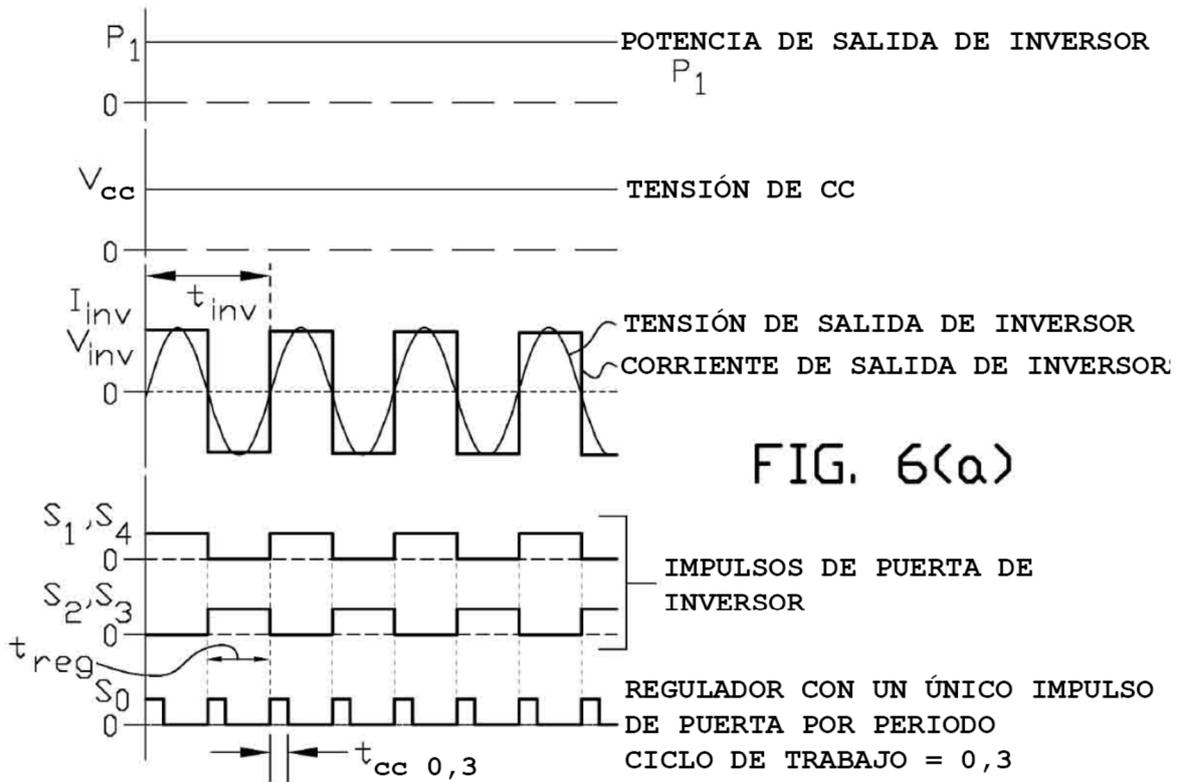


FIG. 6(a)

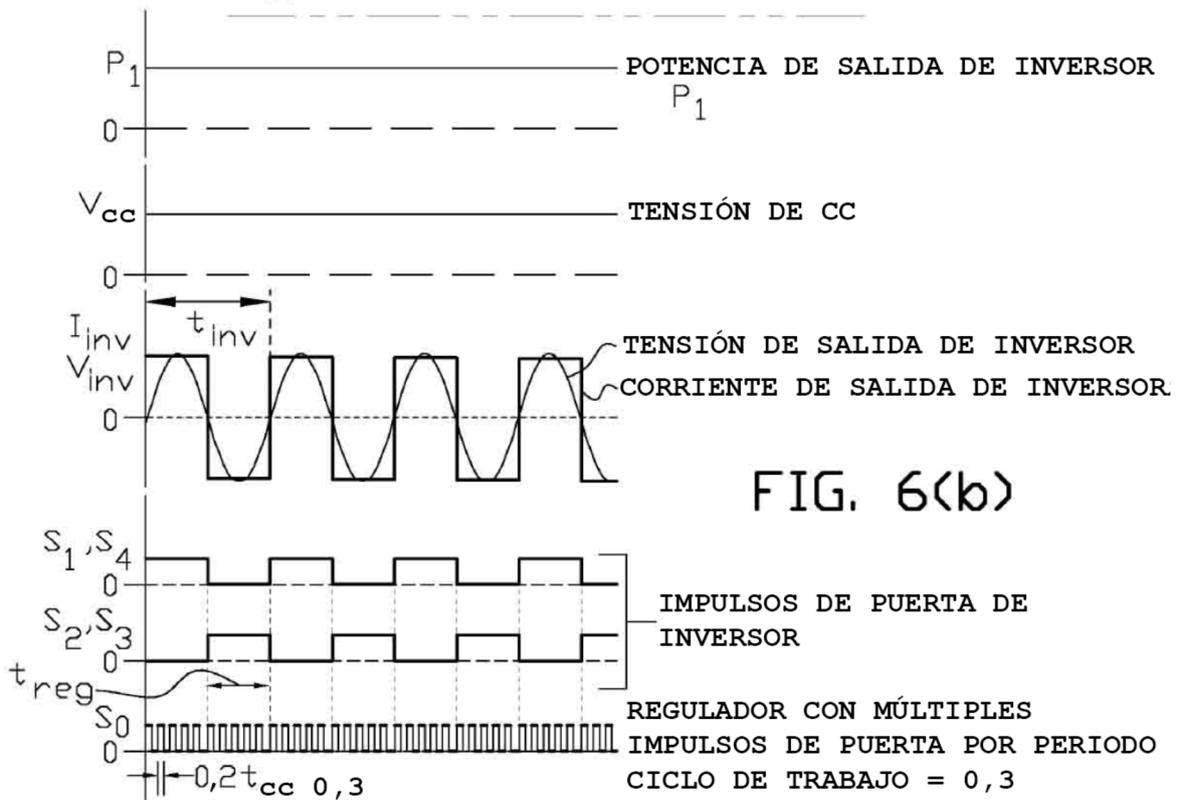


FIG. 6(b)

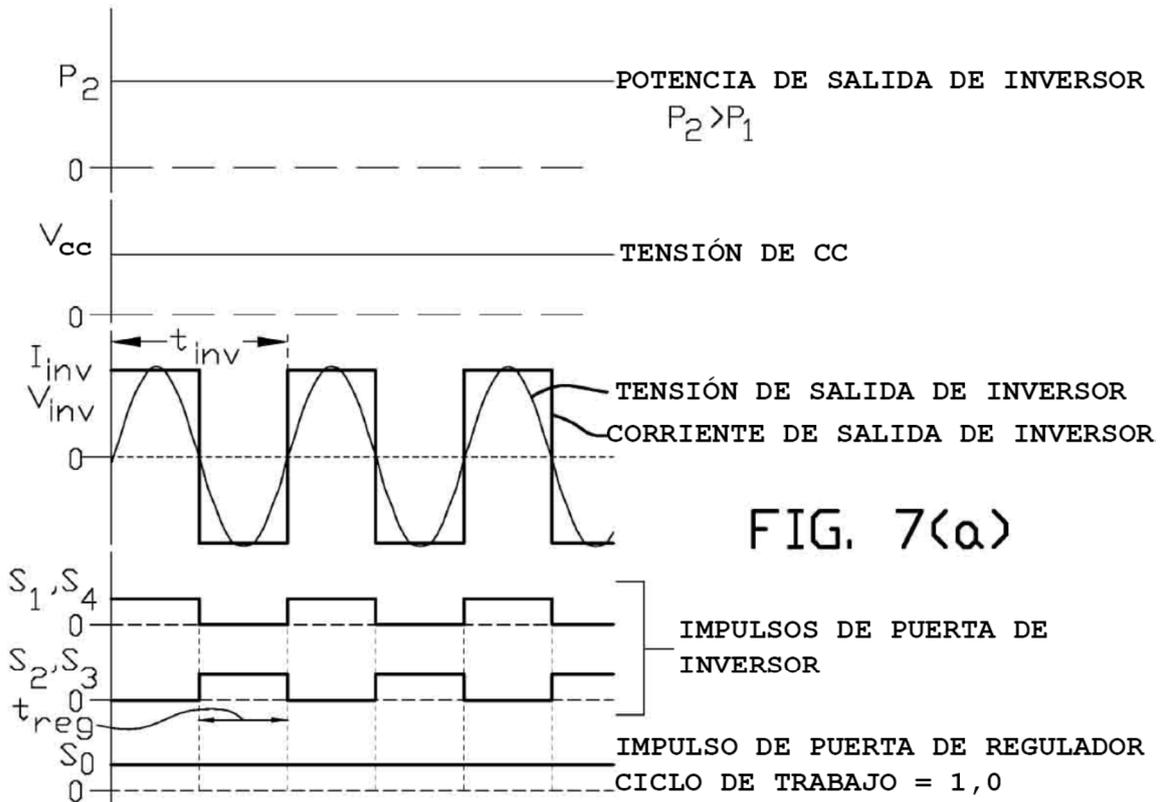


FIG. 7(a)

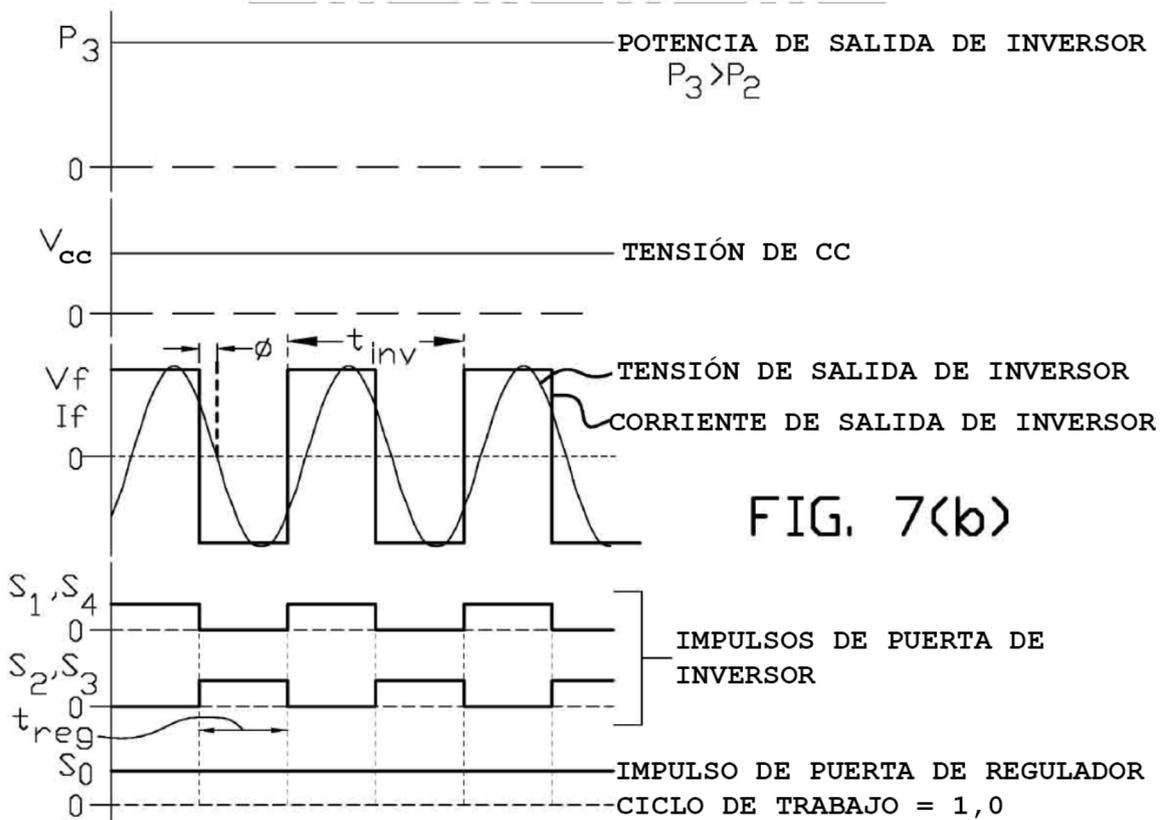


FIG. 7(b)

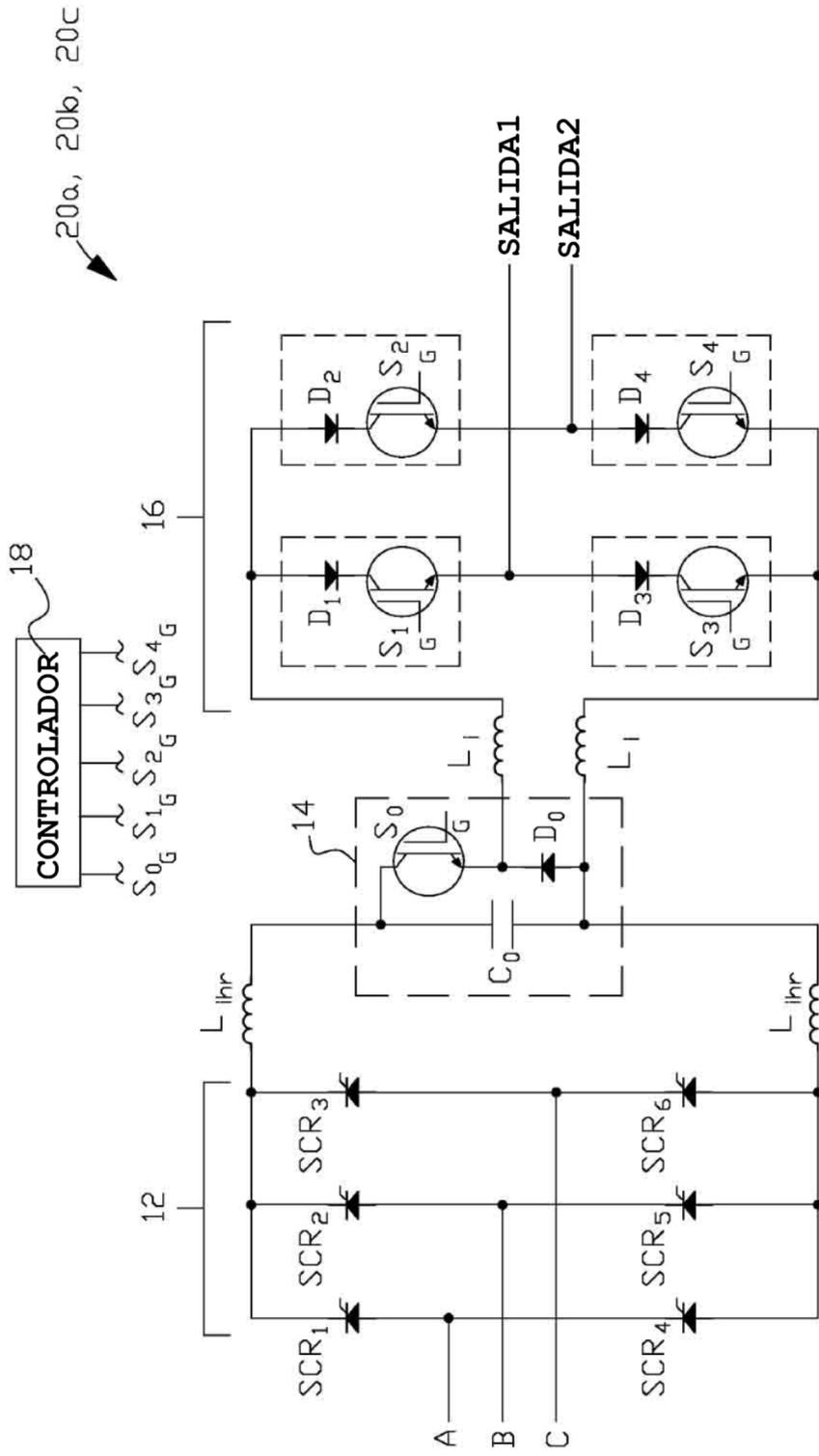


FIG. 8

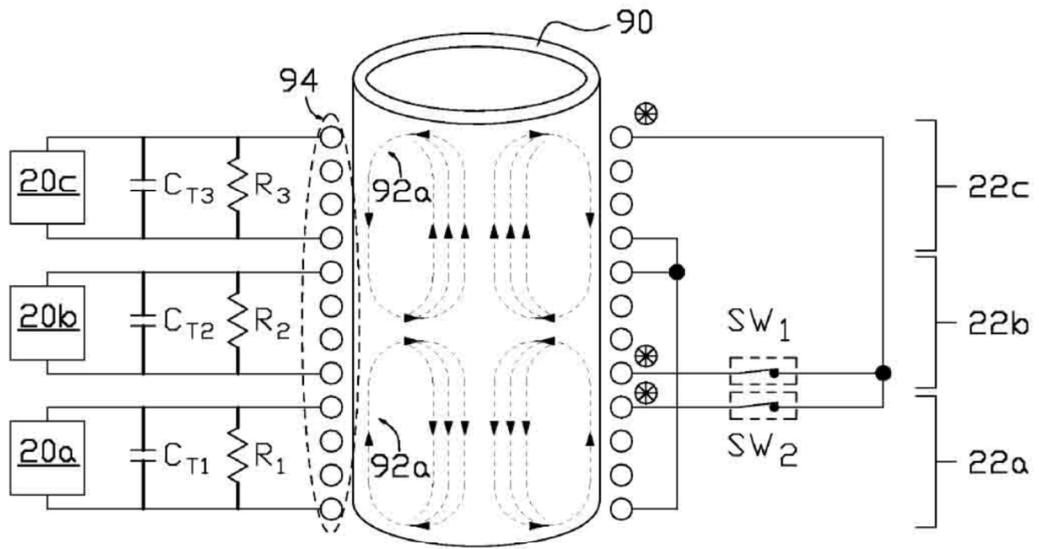


FIG. 9(a)

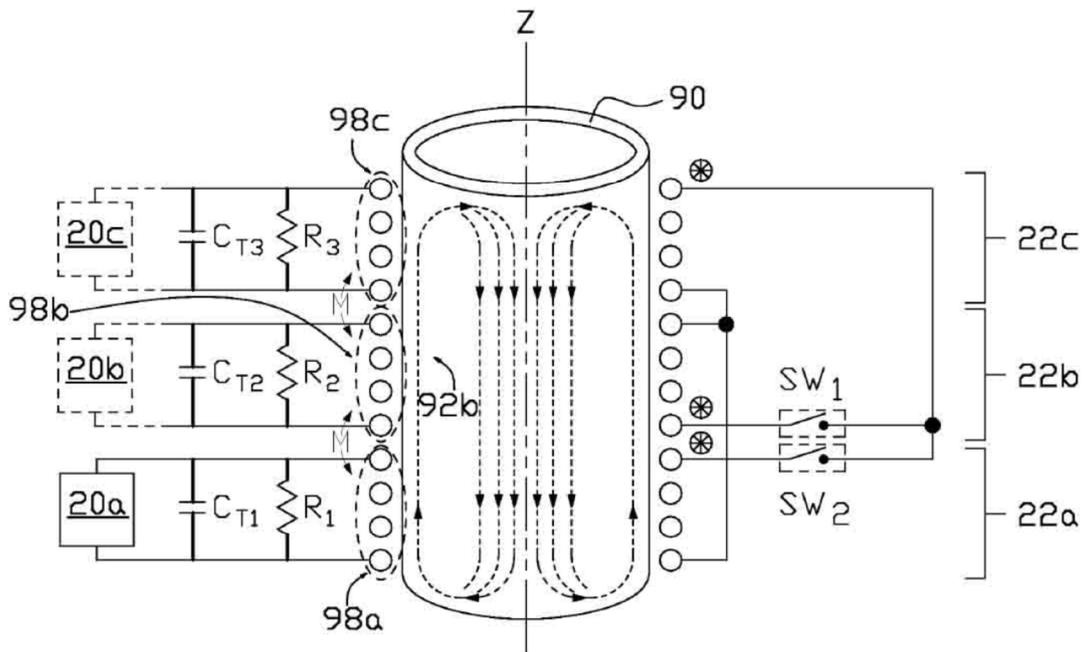


FIG. 9(b)

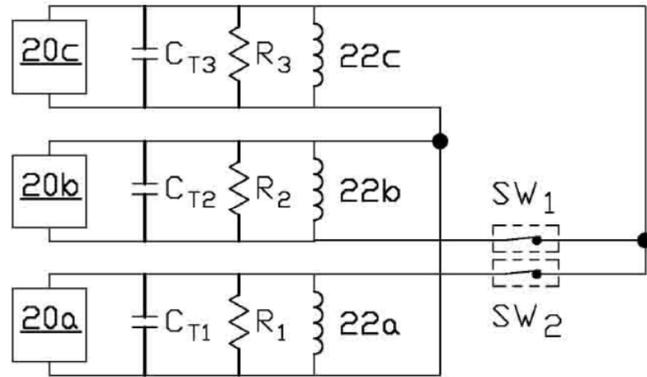


FIG. 10(a)

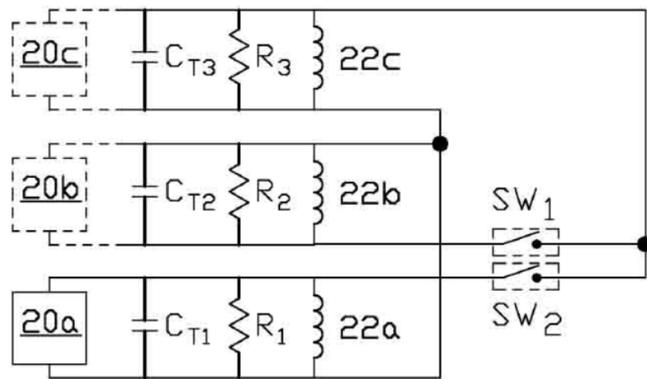


FIG. 10(b)

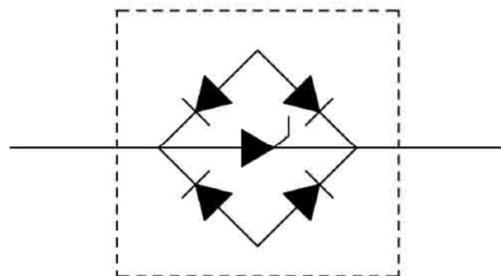


FIG. 10(c)

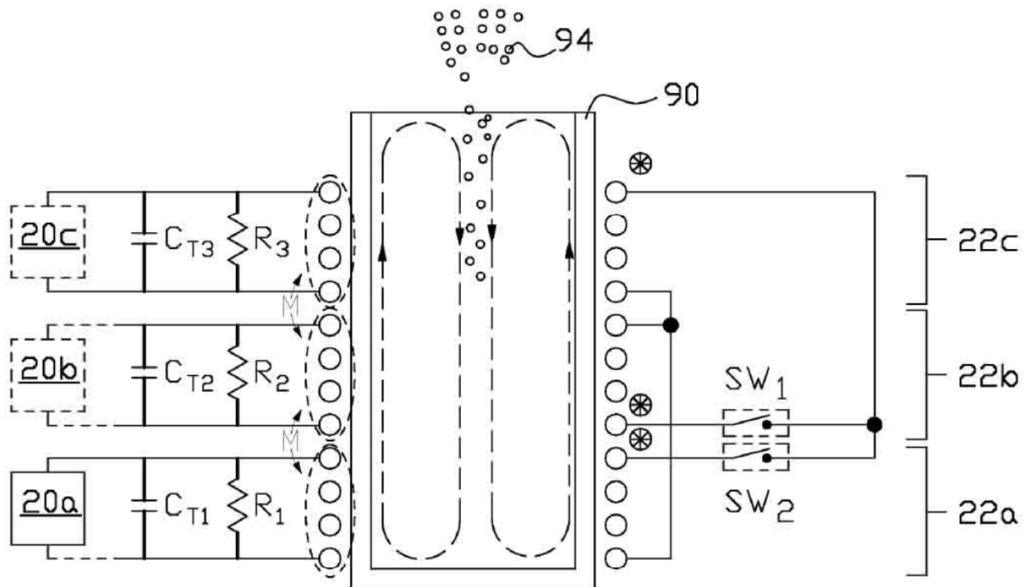


FIG. 11(a)

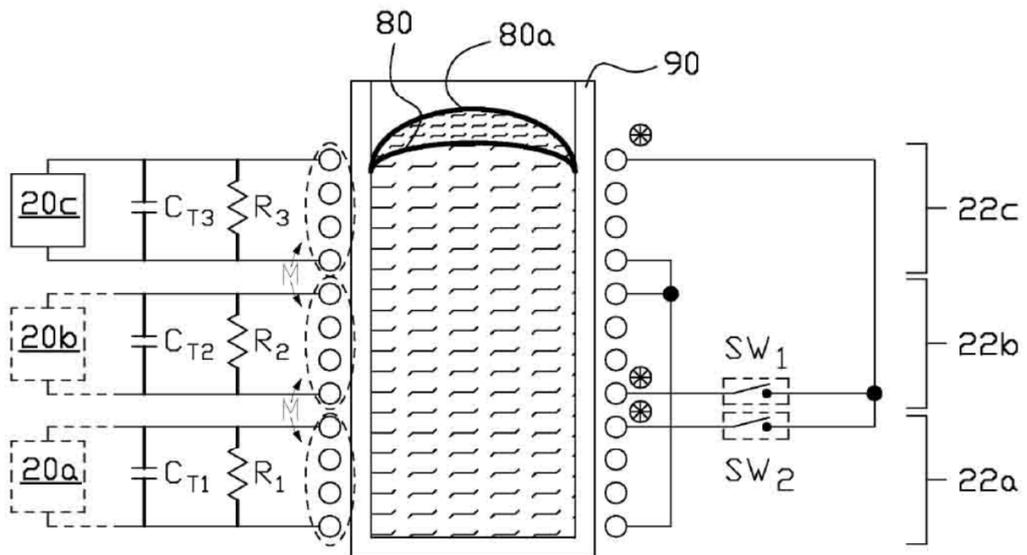


FIG. 11(b)

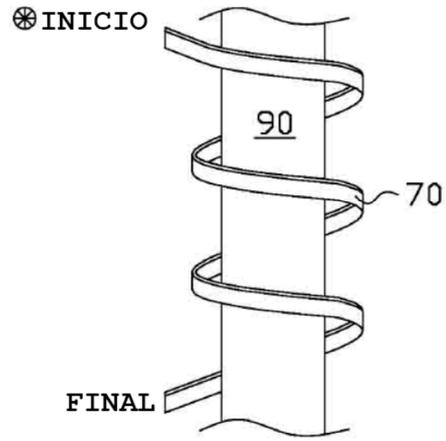


FIG. 12(a)

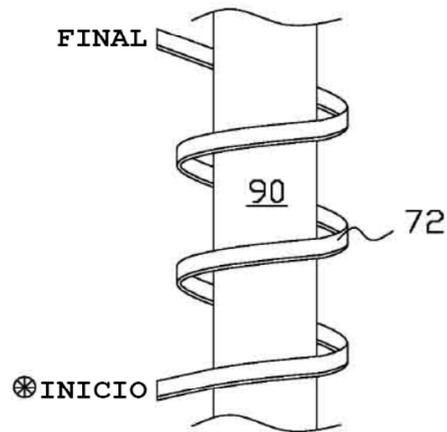


FIG. 12(b)