

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 622 446**

51 Int. Cl.:

H05B 6/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.01.2002 PCT/US2002/00236**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.07.2002 WO02054831**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.01.2002 E 02704060 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.03.2017 EP 1350415**

54 Título: **Horno de inducción con sistema de bobina de eficiencia mejorada**

30 Prioridad:

08.01.2001 US 260241 P

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

06.07.2017

73 Titular/es:

**INDUCTOTHERM CORP. (100.0%)
10 INDEL AVENUE
RANCOCAS, NEW JERSEY 08073-015, US**

72 Inventor/es:

**FISHMAN, OLEG, S.;
NADOT, VLADIMIR, V.;
PEYSAKHOVICH, VITALY, A. y
MORTIMER, JOHN, H.**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 622 446 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

Horno de inducción con sistema de bobina de eficiencia mejorada

Esta solicitud reivindica prioridad de la solicitud provisional estadounidense US 60/260,241 presentada el 8 de enero de 2001.

5 La presente invención se refiere en general a hornos de inducción eléctrica y más particularmente a hornos de inducción que tienen sistemas de bobina de eficiencia mejorada.

10 Los hornos de inducción eléctrica se utilizan para calentar y fundir metales y otros materiales eléctricamente conductores. Un horno de inducción utiliza una bobina de inducción que es alimentada desde una fuente de alimentación CA. La corriente alterna que fluye a través de la bobina crea un campo magnético que es aplicado a la carga eléctricamente conductora dispuesta dentro del crisol del horno. Se pueden usar las corrientes Eddy inducidas por el campo en la carga para calentar, fundir y sobrecalentar la carga. El acoplamiento magnético entre la bobina de inducción y la carga es análogo al acoplamiento de un transformador magnético. Sin embargo, una bobina de inducción tiene una inductancia de pérdidas mucho mayor que la inductancia de pérdidas de un transformador magnético. En consecuencia, el factor de potencia de un horno de inducción es extremadamente bajo, oscilando típicamente desde 0,08 hasta 0,15, resultando, por tanto, en una carga extremadamente ineficiente.

20 El horno de inducción sin núcleo convencional consiste en una bobina helicoidal de cobre refrigerada por agua con un crisol cerámico que contiene la carga. Una corriente alternativa en la bobina genera un campo magnético que induce una corriente en la carga conductora. Como se ilustra en la Fig. 1(a), el horno 100 de inducción puede verse como un transformador de acoplamiento donde las espiras de la bobina primaria están acopladas magnéticamente a una única espira formada por el material fundido 102 conductor. En la figura, I_c representa la corriente de bobina e I_m representa la corriente en el baño fundido. Por tanto, se puede asumir que la relación de la corriente inducida en el material fundido con la corriente en la bobina se acerca al número de espiras de la bobina. Se induce la máxima densidad de corriente en la circunferencia del material fundido, decayendo exponencialmente la corriente hacia la profundidad del material fundido en dirección al centro del crisol.

25 La tasa de caída está definida por una constante, concretamente la profundidad de penetración de la corriente en el metal, Δ_m , como se define (en metros) mediante la siguiente ecuación.

$$\Delta_m = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_m}{\mu_0 \cdot \mu_m \cdot f}} = 503 \sqrt{\frac{\rho_m}{f}}$$

30 donde ρ_m = resistividad del metal fundido (en ohmios/m);

$\mu_0 \cdot \mu_m$ = el producto de la permeabilidad absoluta y relativa (con $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ y μ_m , la permeabilidad relativa del metal, en H/m);

f = la frecuencia de la corriente de bobina (en Hercios).

35 Los hornos de inducción normalmente están diseñados para satisfacer la condición de que la profundidad de penetración de la corriente en el metal es mucho menor que el radio del material fundido ($\Delta_m \ll r_m$).

La forma convencional del material fundido es cilíndrica. La mayoría de la corriente inducida está fluyendo en la capa exterior del material fundido con un grosor igual a la profundidad de la penetración, Δ_m . La resistencia, R_m , (en ohmios) de esta capa puede estimarse mediante la siguiente ecuación:

40

$$R_m = \frac{\rho_m \cdot 2\pi \cdot r_m}{h_m \cdot \Delta_m} = 0.0125 \cdot \frac{r_m}{h_m} \sqrt{\frac{f}{\rho_m}}$$

donde R_m = resistencia del material fundido (en ohmios);

r_m = radio del material fundido;

h_m = altura del material fundido;

45 ρ_m , Δ_m y f son tal como se definió anteriormente.

Los hornos de inducción son principalmente dispositivos de una única fase. La energía eléctrica suministrada se distribuye típicamente en tres líneas trifásicas equilibradas. Para un funcionamiento óptimo, los hornos de inducción operan a frecuencias típicamente en el rango de 100 a 10000 hercios. Estas frecuencias son necesarias para

mantener una relación Δ_m/r_m óptima para el agitado electromagnético de metal fundido en el horno.

Unos convertidores de potencia de estado sólido generan la potencia a la frecuencia, tensión y corriente necesarios para los hornos de inducción. Estos convertidores utilizan semiconductores de potencia (tales como topologías basadas en SCR, IGBT o IGCT). El convertidor de potencia estático en estado sólido resuelve el problema del equilibrado de fase. Se rectifican tensiones de línea de 3, 6 o 12 fases antes de ser invertidas para obtener una corriente eléctrica de una fase y frecuencia media. La rectificación de onda completa de la tensión de línea multifase produce una distorsión armónica baja en las líneas eléctricas e alimentación, eliminando así la necesidad de filtros de línea. Como se ilustra en la Fig. 1(b), el convertidor de potencia consiste en tres secciones principales:

un rectificador ca a cd y filtro cd

un inversor de media frecuencia cd a ca; y

un banco de condensadores de sintonización.

La potencia suministrada al horno es controlada de manera automática modificando el tiempo de conmutación de los componentes de conmutación de estado sólido del inversor. Esta temporización determina la frecuencia de operación, la fase y la amplitud de la corriente del horno.

Existen dos implementaciones convencionales de los convertidores de potencia de estado sólido estáticos, concretamente un inversor alimentado en corriente con un banco de condensadores paralelo y un inversor alimentado en tensión con un banco de condensadores en serie. La Fig. 2(a) ilustra un sistema de horno que utiliza un convertidor alimentado en corriente. La Fig. 2(b) ilustra un sistema de horno que utiliza un convertidor alimentado en corriente con condensadores de tanque en serie/paralelo. La Fig. 2(c) y la Fig. 2(d) ilustran sistemas de horno que utilizan un convertidor alimentado en tensión en configuraciones de puente completo y de medio puente, respectivamente. Cada una de estas topologías de suministro de potencia comprende una sección 110 de filtro y rectificador, una sección 120 de inversor de estado sólido; y una sección 130 de condensador de sintonización. Aunque se utiliza el símbolo generalmente reconocido para un SCR en este conjunto de figuras, en estas aplicaciones se pueden utilizar otros dispositivos de conmutación de estado sólido.

En el inversor alimentado en corriente, como se ilustra en la Fig. 2(a), el banco de condensadores de corrección de factor de potencia normalmente está conectado en paralelo a la bobina del horno. El término "banco de condensadores" se utiliza aquí para designar uno o más condensadores conectados en serie o en paralelo de modo que constituyen el circuito equivalente mostrado en las figuras. Tanto el banco de condensadores como la bobina están conectados en la diagonal de un inversor de puente completo. Esta conexión permite que la componente reactiva de la corriente de la bobina puentee los componentes de conmutación de estado sólido del inversor. Sin embargo, el inversor es expuesto a la tensión del horno completa. Los valores de la tensión del inversor pueden ser más altos o más bajos que la tensión cd en el rectificador. Por tanto, el rectificador cd y las secciones de inversor deben ser desacopladas por reactores. Los reactores proporcionan al inversor una corriente cd constante. Actúan como un filtro y depósito de energía. El inversor convierte la corriente cd en una corriente de onda cuadrada que se suministra a un circuito resonante paralelo.

La potencia del horno en los sistemas de inversor alimentado en corriente es controlada modificando tanto la temporización como la tensión cd del inversor. Cuando la tensión del inversor cae por debajo del potencial de rectificador cd, la potencia de salida no puede ser controlada solamente mediante la variación en la frecuencia de conmutación del inversor. Se lleva a cabo un control adicional de la corriente cd inyectada mediante la regulación del ángulo de fase de conducción de los SCRs del rectificador. Dicha regulación introducirá distorsión en la línea eléctrica de alimentación a no ser que se dispondan filtros.

La ventaja principal del inversor resonante paralelo es que solo parte de la corriente de bobina pasa a través de los dispositivos de conmutación de estado sólido, ahorrando así un número de dispositivos semiconductores. El inversor controla solo parte de la corriente de bobina. Esto, sin embargo, limita la controlabilidad del inversor. Utilizando los reactores de suavizado cd como acumuladores temporales de energía provoca dificultades en el arranque de los inversores. La energía en los reactores es cinética (análoga a la energía de un volante de inercia) – existe solo cuando la corriente cd fluye desde el rectificador al inversor. Para acumular la energía necesaria en el reactor cd de suavizado, se utiliza una red de arranque especial. Cuando se detiene el inversor paralelo, la energía de este reactor se gasta utilizando los interruptores de estado sólido del inversor como un circuito crowbar.

La ventaja de una corriente más baja en los dispositivos de conmutación de estado sólido del inversor se ve afectada por la elevada tensión a la que están expuestos estos dispositivos. Esto frecuentemente requiere apilar los dispositivos en serie, lo que a su vez requiere divisores de tensión dinámicos especiales. Para inversores alimentados en corriente pequeños conectados a líneas de baja tensión estándar, se utiliza una conexión de condensadores en serie/paralelo, como se ilustra en la Fig. 2(b), en lugar de un circuito resonante paralelo.

Desde el punto de vista de la teoría de circuitos eléctricos, los inversores resonantes en serie alimentados en tensión, como se ilustra en la Fig. 2(c), representan un circuito de dualidad para el convertidor paralelo alimentado en corriente. Los reactores de suavizado de corriente en la línea cd son sustituidos por condensadores de filtro de

- 5 tensión cd. El circuito resonante paralelo de salida es sustituido por un circuito resonante en serie. La tensión en el inversor es constante e igual a la tensión de salida del rectificador ca a cd. La corriente de bobina completa fluye a través de los SCRs del inversor y el banco de condensador de sintonización. Dicha configuración proporciona una excelente controlabilidad del sistema. Mediante el control de la temporización de conmutación de los dispositivos de conmutación de estado sólido del inversor, es posible modificar rápidamente (dentro de un período de oscilación) la cantidad de energía que circula en el circuito resonante.
- 10 La energía eléctrica potencial en el banco de condensadores de filtro cd puede mantenerse indefinidamente independientemente del estado del inversor. Durante cada ciclo, la potencia reactiva está fluyendo bien desde el filtro al horno a través de los dispositivos de conmutación de estado sólido o desde el horno al filtro a través de diodos anti-paralelos.
- 15 Debido a la buena controlabilidad de la sección de inversor, no hay necesidad de controlar la tensión cd. Como no se aplica control de fase al rectificador, el factor de potencia de entrada en la línea de alimentación es relativamente constante. No se requieren condensadores de corrección o filtros de línea. La implementación práctica de los convertidores resonantes en serie se simplifica aún más utilizando un esquema de inversor de medio puente tal como se ilustra en la Fig. 2(d).
- 20 Un inversor alimentado por corriente opera con una mayor tensión, mientras que un inversor alimentado por tensión opera con una menor tensión pero con corriente de bobina completa. El inversor alimentado por tensión tiene una mejor controlabilidad y almacena energía reactiva completamente en los condensadores, que tienen menores pérdidas que los reactores cd del inversor alimentado por corriente. En todas estas configuraciones de la técnica anterior para sistemas de hornos de inducción, la bobina del horno es, como se ha mencionado anteriormente, una carga eléctrica extremadamente ineficiente. Por tanto, existe la necesidad de un sistema de bobina más eficiente para un horno de inducción.
- 25 La presente invención proporciona un sistema de horno de inducción de acuerdo con la reivindicación 1 y un método de acuerdo con la reivindicación 6, a las que se hace referencia ahora. Por tanto, la presente invención puede proporcionar un aparato y un método para calentar y fundir un material eléctricamente conductor en el crisol de un sistema de horno de inducción que incluye una bobina de inducción pasiva que rodea una sección parcial del crisol. La bobina de inducción pasiva está conectada a un condensador para formar un circuito tanque L-C. Se proporciona una corriente ca desde una fuente de alimentación ca a una bobina de inducción activa que rodea una sección parcial del crisol. La corriente ca genera un primer campo magnético que calienta y funde el material eléctricamente conductor y, mediante el acoplamiento magnético con la bobina pasiva, induce una corriente inducida con la bobina pasiva. Esta corriente inducida genera un segundo campo magnético que calienta y funde el material eléctricamente conductor. La resistencia del circuito tanque L-C se refleja en el circuito de la bobina de inducción activa para aumentar la eficiencia del sistema de horno de inducción.
- 30
- 35 Con el propósito de ilustrar la invención, se muestra en los dibujos una forma actualmente preferida; se debe entender, sin embargo, que esta invención no está limitada a las disposiciones y funciones precisas que se muestran. En los dibujos:
- La Fig. 1(a) es una vista de una sección transversal de un crisol convencional que ilustra la distribución de corriente inducida.
- 40 La Fig. 1(b) es el crisol de la Fig. 1(a) conectado a una fuente de alimentación convencional para formar un sistema de horno de inducción.
- La Fig. 2(a) es un diagrama de planta de un sistema de horno de inducción convencional que utiliza un convertidor alimentado en corriente.
- 45 La Fig. 2(b) es un diagrama de planta de un sistema de horno de inducción convencional que utiliza un convertidor alimentado en corriente con condensadores de tanque en serie/paralelo.
- La Fig. 2(c) es un diagrama de planta de un sistema de horno de inducción convencional que utiliza un inversor alimentado por tensión.
- La Fig. 2(d) es un diagrama de planta de un sistema de horno de inducción convencional que utiliza condensadores de tanque en serie.
- 50 La Fig. 3(a) es un diagrama de planta que ilustra un ejemplo de un sistema de horno de inducción con el sistema de bobina de eficiencia mejorada de la presente invención.
- La Fig. 3(b) es un esquema simplificado que ilustra un ejemplo de un sistema de horno de inducción con el sistema de bobina de eficiencia mejorada de la presente invención.
- La Fig. 3(c) es un esquema simplificado que ilustra otro ejemplo de un sistema de horno de inducción con el sistema

de bobina de eficiencia mejorada de la presente invención.

La Fig. 4 es un gráfico que ilustra la magnitud de potencia disponible para el calentamiento y fundición por inducción como una función de la frecuencia del sistema para un ejemplo de un sistema de horno de inducción de la presente invención.

5 La Fig. 5 es un gráfico que ilustra la magnitud de la impedancia de entrada para el sistema de bobina de inducción como una función de la frecuencia del sistema para un ejemplo del sistema de horno de inducción de la presente invención.

10 La Fig. 6 es un gráfico que ilustra la magnitud del factor de potencia de carga de bobina para el sistema de bobina de inducción como una función de la frecuencia del sistema para un ejemplo del sistema de horno de inducción de la presente invención.

La Fig. 7 es un gráfico que ilustra la magnitud de la reactancia de entrada para el sistema de bobina de inducción como una función de la frecuencia del sistema para un ejemplo del sistema de horno de inducción de la presente invención.

15 La Fig. 8(a) es un diagrama de planta que ilustra otro ejemplo de un sistema de horno de inducción con el sistema de bobina de eficiencia mejorada de la presente invención.

La Fig. 8(b) es un esquema simplificado que ilustra otro ejemplo de un sistema de horno de inducción con el sistema de bobina de eficiencia mejorada de la presente invención.

La Fig. 9(a) es un diagrama de planta que ilustra otro ejemplo del sistema de horno de inducción con el sistema de bobina de eficiencia mejorada de la presente invención.

20 La Fig. 9(b) es un esquema simplificado que ilustra otro ejemplo de un sistema de horno de inducción con el sistema de bobina de eficiencia mejorada de la presente invención.

La Fig. 10 es un diagrama vectorial que ilustra las ventajas de un sistema de horno de inducción con el sistema de bobina de eficiencia mejorada de la presente invención.

25 La Fig. 11 es un esquema simplificado que ilustra otro ejemplo de un ejemplo de sistema de horno de inducción con el sistema de bobina de eficiencia mejorada de la presente invención.

Haciendo referencia ahora a los dibujos, donde números similares indican elementos similares, se muestra en la Fig. 3(a) y 3(b), de acuerdo con la presente invención, un ejemplo de un sistema 10 de horno de inducción que utiliza un sistema de bobina de alta eficiencia.

30 La bobina L_1 (bobina activa) está conectada en sus terminales de extremo a la fuente 20 de alimentación ca que funciona con una tensión y frecuencia controlables para producir una corriente I_1 en la bobina L_1 . La bobina L_2 (bobina pasiva) está conectada al condensador C_2 para formar un circuito tanque L-C paralelo. El campo magnético creado por el flujo de la corriente en la bobina L_1 crea un campo de flujo que está magnéticamente acoplado a la bobina L_2 (como se indica mediante la inductancia M mutua en las figuras), que induce la corriente I_2 en la bobina L_2 . La corriente I_2 inducida tiene la misma frecuencia que la corriente I_1 . Los campos magnéticos creados por la corriente que fluye en las bobinas L_1 y L_2 calentarán y fundirán inductivamente el material 12 eléctricamente conductor dispuesto en el crisol 13.

La magnitud y fase de I_2 también depende de los valores de impedancia seleccionados de la bobina L_2 y el condensador C_2 en el circuito tanque formado por estos componentes.

40 La tensión en la bobina L_2 genera una tensión en la bobina L_1 , que se opone a la tensión de alimentación que controla el flujo de corriente I_1 en L_1 . Como resultado, la bobina L_1 absorbe menos corriente del inversor mientras que el sistema 10 de horno de inducción genera la misma magnitud de potencia, permitiendo así un dimensionamiento más pequeño de los componentes eléctricos para la alimentación de potencia al mismo tiempo que se mantiene el mismo nivel de potencia de calentamiento y fundición.

45 Además, la reactancia del condensador C_2 en el circuito tanque mejora sustancialmente el factor de potencia de bajo retraso de la bobina de inducción para proporcionar un sistema de bobina más eficiente.

Aunque se utiliza un convertidor de medio puente alimentado por tensión con un condensador de tanque en serie en la Fig. 3(a), la Fig. 3(b) ilustra un ejemplo más general del sistema de horno de inducción de la presente invención donde el convertidor (alimentación de potencia) se identifica genéricamente como elemento 21. En la Fig. 3(a), que para este ejemplo de la invención está configurado como un convertidor de medio puente, se muestra el condensador C_1 como una capacitancia distributiva en el medio puente, mientras que en la Fig. 3(b) el condensador C_1 se muestra generalmente como un elemento de circuito simple.

El sistema de bobina de alta eficiencia de la presente invención puede utilizarse con varios tipos de topologías de

alimentación de potencia, tales como (sin limitación) convertidores alimentados por tensión resonantes en serie y convertidores que utilizan modulación por anchura de pulso, para aprovechar las ventajas del sistema de bobina de eficiencia mejorada.

La presente invención puede apreciarse mejor mediante el diagrama vectorial mostrado en la Fig. 10. En la figura, con respecto del circuito de bobina activa, el vector OV representa la corriente I_1 en la bobina activa L_1 , como se ilustra en la Fig. 3(a) a la Fig. 3(c). El vector OA representa la componente resistiva de la tensión de la bobina activa, $I_1 R_1$ (R_1 no se muestra en las figuras). El vector AB representa la componente inductiva de la tensión de la bobina activa, $\omega L_1 I_1$ (donde ω es igual a 2π veces f , la frecuencia de operación de la fuente de alimentación). El vector BC representa la tensión, $\omega M I_2$, inducida por la bobina L_2 pasiva en la bobina L_1 activa. El vector CD representa la tensión, $I_1 / \omega C_1$, en los condensadores C_1 en serie conectados entre la sección de inversor de la fuente de alimentación y la bobina activa L_1 . El vector OD representa la tensión de salida, V_{inv} , del inversor (terminales 3 y 4 en la Fig. 3(a)).

Con respecto del circuito de bobina pasiva, el vector OW representa la corriente I_2 en la bobina L_2 pasiva inducida por el campo magnético producido por la corriente I_1 . El vector OF representa la componente resistiva de la tensión de la bobina pasiva, $I_2 R_2$ (R_2 no se muestra en las figuras). El vector FE representa la componente inductiva de la tensión de la bobina pasiva, $\omega L_2 I_2$. El vector EG representa la tensión, $\omega M I_1$, inducida por la bobina L_1 activa en la bobina L_2 pasiva. El vector GO representa la tensión, $I_2 / \omega C_2$, en el condensador C_2 , que está conectado en la bobina L_2 pasiva.

El circuito de bobina activa es accionado por la fuente de tensión, V_{inv} , mientras que el bucle de bobina pasiva no está conectado a una fuente de energía activa. Como las bobinas activa y pasiva están acopladas mutuamente, se añade el vector BC al vector OB, que representa la tensión (V'_{furn}) a través de una bobina de horno activa en ausencia de un circuito de bobina de horno capacitiva pasiva, para dar como resultado el vector OC, que es la tensión (V_{furn}) a través de una bobina de horno activa con un circuito de bobina de horno capacitiva pasiva de la presente invención. La tensión de horno resultante, V_{furn} , con un menor ángulo de factor de potencia de retraso, ϕ (ángulo en el sentido opuesto a las agujas del reloj entre el eje x y el vector OC), que el horno convencional representado por el vector OB (mostrado en línea discontinua). Como se ilustra en la Fig. 10, existe una mejora del ángulo del factor de potencia de $\Delta\phi$.

En la presente invención, la impedancia inductiva en la bobina pasiva es compensada sustancialmente por la impedancia capacitiva (es decir, $\omega L_2 I_2 / \omega C_2$). La componente resistiva no compensada, R_2 , en el circuito de bobina pasiva se refleja en el circuito de bobina activa mediante la inductancia mutua entre los dos circuitos, y aumenta la resistencia del circuito de bobina activa efectiva, mejorando así el factor de potencia, o la eficiencia del sistema de bobina.

Además, el ángulo del factor de potencia, ψ , para la salida del inversor mejora en $\Delta\psi$, según se ilustra mediante el ángulo entre el vector OJ (el vector resultante (V'_{inv}) del vector OA de la componente resistiva y el vector AJ de la componente capacitiva en ausencia de un circuito de bobina de horno pasiva) y el vector OD (el vector resultante (V_{inv}) del vector OH de la componente resistiva y el vector HD de la componente capacitiva con el circuito de bobina de horno pasiva de la presente invención).

En otro ejemplo del sistema de bobina de alta frecuencia de la presente invención, como se muestra en la Fig. 3(c), las bobinas L_1 y L_2 se pueden superponer total o parcialmente para aumentar la inductancia mutua M entre las dos bobinas.

Como se muestra en la Fig. 4 para un ejemplo de la presente invención, las bobinas L_1 y L_2 tienen dos frecuencias resonantes diferentes en aproximadamente 144 hercios y 166 hercios respectivamente. Las mismas aproximaciones de frecuencia para las bobinas L_1 y L_2 de resonancia ignoran las desviaciones de frecuencia menores para la resonancia de las dos bobinas que se muestra en la Fig. 4.

En la Fig. 4, la curva $P1_n$ (mostrada en línea punteada) ilustra la magnitud de la potencia en el circuito de bobina L_1 y la curva $P2_n$ (mostrada en línea discontinua) ilustra la magnitud de la potencia en el circuito de bobina L_2 . La curva $P\Sigma_n$ (mostrada en línea continua) representa la suma de potencia en los circuitos de la bobina L_1 y la bobina L_2 . Se puede conseguir el control de potencia variando la frecuencia de salida (f_n) de la fuente de alimentación entre f_{cd} y la frecuencia a la que se produce la resonancia para la bobina L_1 (en este ejemplo, aproximadamente 144 hercios).

La Fig. 5 muestra para un ejemplo de la presente invención el efecto de la frecuencia (f_n) de la fuente de alimentación, sobre la magnitud de la impedancia (Z_n) de carga, en ohmios, en los terminales 1 y 2, como se muestra en la Fig. 3(a) y la Fig. 3(b).

La Fig. 6 muestra para un ejemplo de la presente invención el efecto de la frecuencia (f_n) de la fuente de alimentación sobre el factor de potencia (Pf_n) del circuito de carga en los terminales 1 y 2 tal como se muestra en la Fig. 3(a) y la Fig. 3(b). La Fig. 6 ilustra el factor de potencia de carga de bobina mejorado que puede conseguirse en un ejemplo de la presente invención operando la fuente de alimentación en un rango por debajo de la primera frecuencia de resonancia de aproximadamente 144 hercios.

La Fig. 7 muestra para un ejemplo de la presente invención el efecto de la frecuencia (f_n) de la fuente de alimentación sobre la magnitud de la reactancia de la carga (X_n), en ohmios, en los terminales 1 y 2 tal como se muestra en la Fig. 3(a) y la Fig. 3(b).

5 El agitado electromagnético del material fundido en el crisol puede ajustarse sustituyendo el condensador C_2 de la reactancia pasiva por un condensador con un valor diferente de la reactancia para modificar el punto de resonancia en el circuito tanque L-C paralelo formado por la bobina L_2 y el condensador C_2 . En algunas aplicaciones, donde el circuito tanque L-C está situado cerca de la parte inferior del crisol, se selecciona el condensador C_2 para minimizar la turbulencia provocada por un agitado electromagnético excesivo cerca de la parte inferior del crisol para evitar la extracción de material refractario del crisol que se asienta en la parte inferior del material fundido y lo contamina.
10 Alternativamente, el condensador C_2 puede ser un banco de condensadores ajustable donde la capacitancia del condensador C_2 puede ser ajustada fácilmente.

La Fig. 8(a) y la Fig. 8(b) muestran un ejemplo alternativo del sistema de horno de inducción de la presente invención donde el condensador C_2 de sintonización está conectado en una sección parcial, L_b , de la bobina L , que está conectada en sus terminales de extremo (1 y 2) a la salida de la fuente 20 de alimentación en la Fig. 8(a) o la fuente 21 de alimentación en la Fig. 8(b). En este ejemplo, la bobina L funciona como un autotransformador con potencia aplicada en toda la bobina. El circuito tanque L-C formado por la sección de bobina parcial L_b y el condensador C_2 mejora la eficiencia global del circuito de bobina de inducción.

La Fig. 9(a) y la Fig. 9(b) muestran otro ejemplo alternativo del sistema de horno de inducción de la presente invención donde el condensador C_2 de sintonización está conectado en los terminales de extremo de la bobina L , que tiene una sección parcial, L_b , conectada a la salida de la fuente 20 de alimentación en la Fig. 9(a) o la fuente 21 de alimentación en la Fig. 9(b). En este ejemplo, la bobina L funciona como un autotransformador con potencia aplicada a través de una sección parcial de toda la bobina. El circuito tanque L-C formado por la bobina L de inducción y el condensador C_2 mejora la eficiencia global del circuito de bobina de inducción.

La Fig. 11 ilustra otro ejemplo de la presente invención donde el crisol 90 comprende un material aislado térmicamente con el extremo abierto rodeado por bobinas de inducción. Aunque el crisol 90 se muestra con una forma generalmente cilíndrica, puede configurarse alternativamente el crisol de extremo abierto de otro modo siempre que permita el paso a través del crisol del material 92 eléctricamente conductor. El material eléctricamente conductor puede ser, sin limitación, un lingote que pasa a través del crisol de modo que el lingote es calentado o fundido de manera inductiva. El crisol y el material eléctricamente conductor pueden estar orientados en direcciones diferentes de las mostradas en la Fig. 11, por ejemplo horizontalmente en lugar de verticalmente. En este ejemplo, las bobinas, condensador tanque L-C paralelo y fuente de alimentación son similares a las de la Fig. 3(a). Este crisol de extremo abierto puede utilizarse con cualquier otro ejemplo de la presente invención.

Otras disposiciones de bobina activa y pasiva están dentro del alcance de la invención descrita. Por ejemplo, pueden utilizarse circuitos de bobina bien activa múltiple y/o pasiva múltiple en varias configuraciones que tienen una o más bobinas superpuestas y/o una o más bobinas no superpuestas. Además, las bobinas activas y pasivas pueden disponerse de manera alternativa alrededor de la altura del crisol. Por ejemplo, puede disponerse la bobina pasiva encima de la bobina activa.

Aunque en las figuras se muestra un tipo de fuente de alimentación para su uso con el sistema de bobina de alta eficiencia de la invención, pueden utilizarse otras topologías de fuentes de alimentación, tales como fuentes de alimentación que utilizan técnicas de modulación por ancho de pulso, para aprovechar las ventajas del sistema de bobina del sistema de horno de inducción de la presente invención.

Los ejemplos de la invención incluyen referencias a componentes eléctricos específicos. Un experto en la materia podría llevar a cabo la invención sustituyendo componentes que no son necesariamente del mismo tipo pero que crean las condiciones deseadas o consiguen los resultados deseados de la invención. Por ejemplo, pueden sustituirse componentes simples por componentes múltiples o viceversa.

Los ejemplos anteriores no limitan el alcance de la invención descrita. El alcance de la invención descrita se establece en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de horno de inducción que comprende un crisol (13), una bobina (L₁) de inducción activa y una bobina (L₂) de inducción pasiva que rodea el crisol, estando la bobina (L₂) de inducción pasiva conectada en paralelo con un condensador (C₂) para formar un circuito tanque L-C paralelo, y una fuente (20) de alimentación que tiene una salida ca conectada a los terminales de la bobina (L₁) de inducción activa para suministrar una primera corriente ca a la bobina (L₁) de inducción activa,

5

caracterizado por que

la bobina (L₁) de inducción activa y la bobina (L₂) de inducción pasiva rodean secciones parciales del crisol (13) según una disposición no-superpuesta para crear un acoplamiento magnético entre las bobinas (L₁, L₂) de inducción activa y pasiva cuando la primera corriente ca fluye a través de la bobina (L₁) de inducción activa para inducir una segunda corriente ca en la bobina (L₂) de inducción pasiva para calentar y fundir de manera inductiva material (12) eléctricamente conductor dispuesto en el crisol (13).

10
2. Un sistema de horno de inducción de acuerdo con la reivindicación 1, donde la capacitancia del condensador (C₂) está ajustada para alterar las características de agitado magnético del segundo campo magnético.

15
3. Un sistema de horno de inducción de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, donde el crisol (13) es un material aislado térmicamente de extremo abierto.

15
4. Un sistema de horno de inducción de acuerdo con la reivindicación 3, donde el material (12) eléctricamente conductor comprende un lingote.

20
5. Un sistema de horno de inducción de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, donde extremos adyacentes de las bobinas (L₁, L₂) activa y pasiva están eléctricamente conectados entre sí.

20
6. Un método para calentar y fundir de manera inductiva un material (12) eléctricamente conductor en un crisol (13), que comprende los pasos de:

rodear el crisol con una bobina (L₁) de inducción activa y una bobina (L₂) de inducción pasiva,

conectar un condensador (C₂) a los terminales de la bobina (L₂) de inducción pasiva para formar un circuito tanque L-C paralelo, y

25

suministrar una primera corriente ca a la bobina (L₁) de inducción activa para generar un primer campo magnético para calentar y fundir de manera inductiva el material (12) eléctricamente conductor,

caracterizado por

30

disponer la bobina (L₁) de inducción activa y la bobina (L₂) de inducción pasiva según una disposición no-superpuesta para crear un acoplamiento magnético entre las bobinas (L₁ y L₂) de inducción activa y pasiva cuando la primera corriente ca fluye a través de la bobina de inducción activa para inducir una segunda corriente ca en la bobina (L₂) de inducción pasiva para generar un segundo campo magnético en la bobina (L₂) de inducción pasiva para calentar y fundir de manera inductiva el material (12) eléctricamente conductor.

30
7. Un método de acuerdo con la reivindicación 6, que incluye el paso de ajustar la capacitancia del condensador (C₂) de modo que se alteran las características de agitado magnético del segundo campo magnético.

35
8. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, que incluye el paso de hacer pasar el material (12) eléctricamente conductor a través del crisol.

40
9. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, que incluye el paso de conectar eléctricamente entre sí extremos adyacentes de la bobina (L₂) de inducción pasiva y la bobina (L₁) de inducción activa.

40

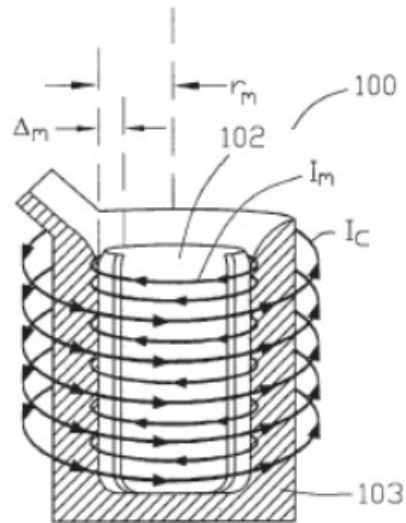


FIG. 1(a)
TÉCNICA ANTERIOR

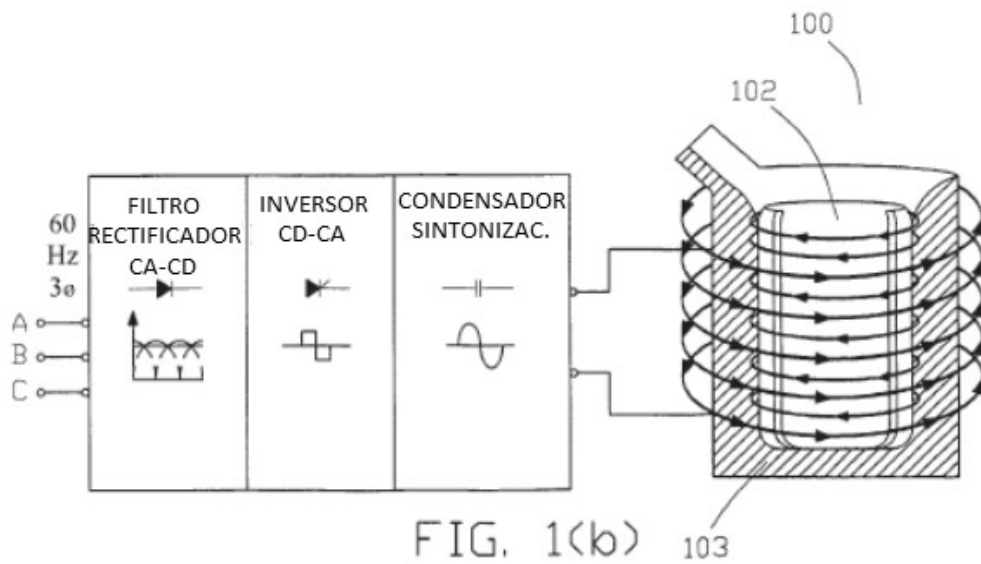


FIG. 1(b)
TÉCNICA ANTERIOR

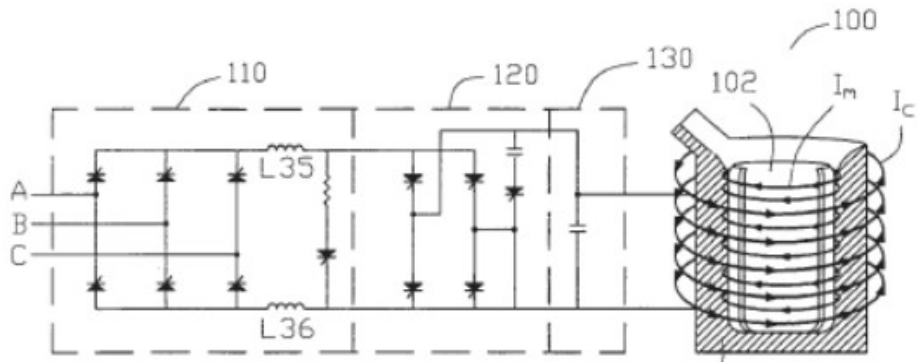


FIG. 2(a)
TÉCNICA ANTERIOR

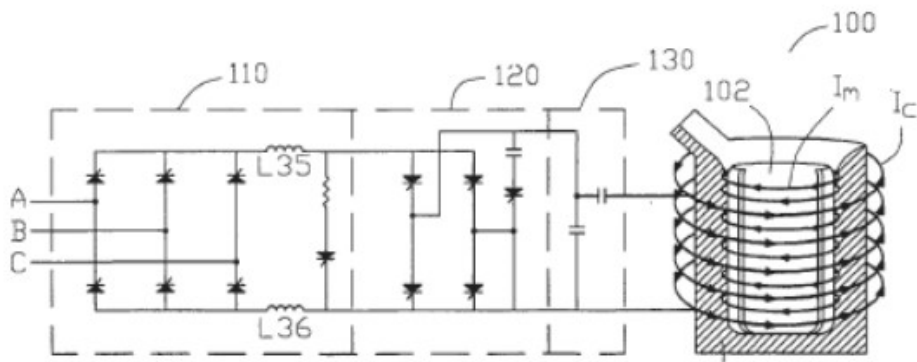


FIG. 2(b)
TÉCNICA ANTERIOR

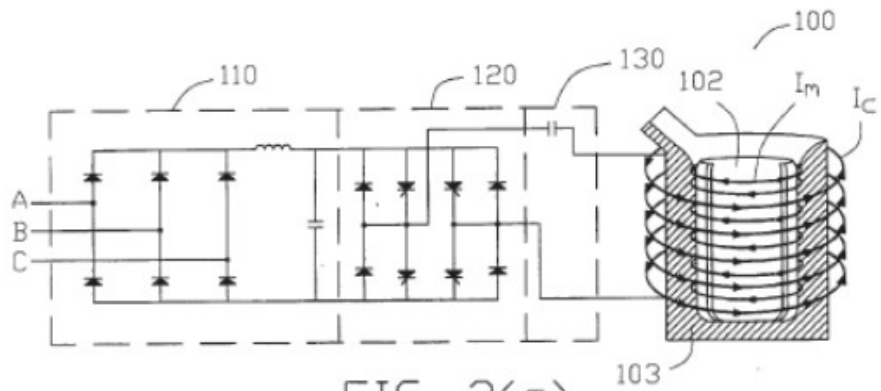


FIG. 2(c)
TÉCNICA ANTERIOR

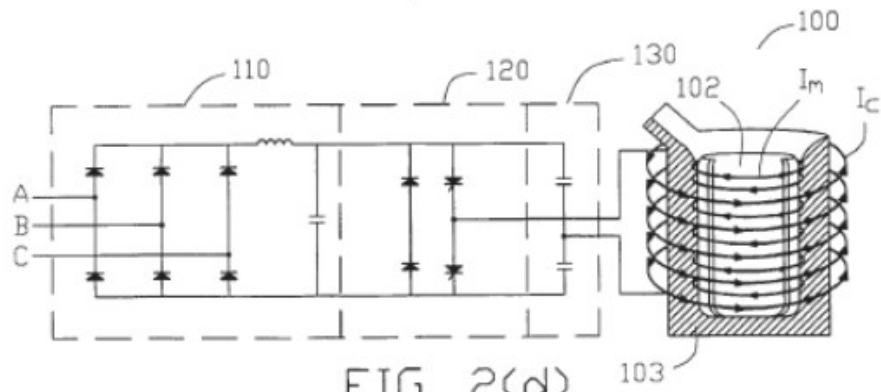


FIG. 2(d)
TÉCNICA ANTERIOR

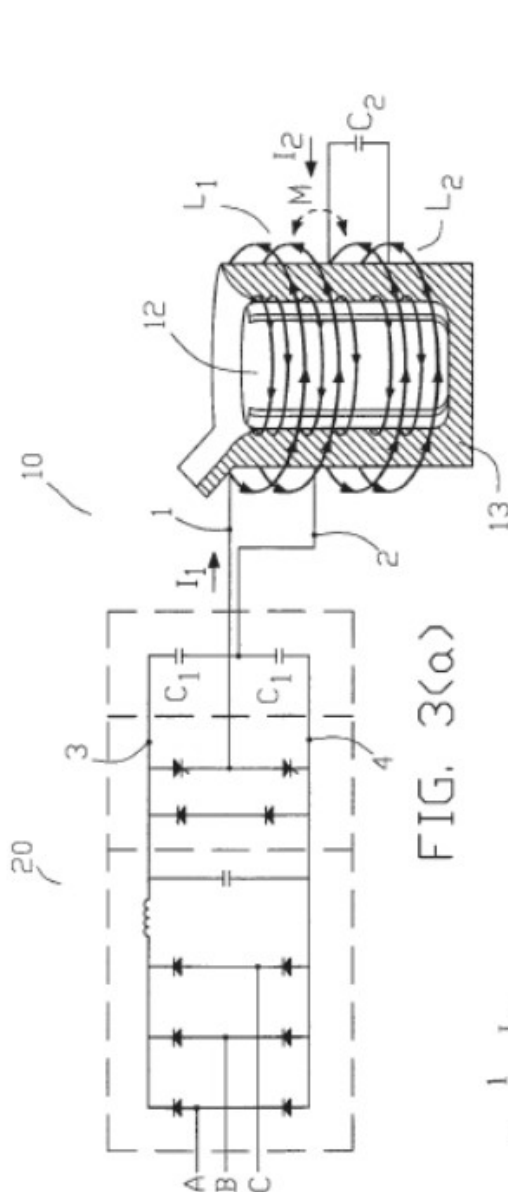


FIG. 3(a)

FIG. 3(b)

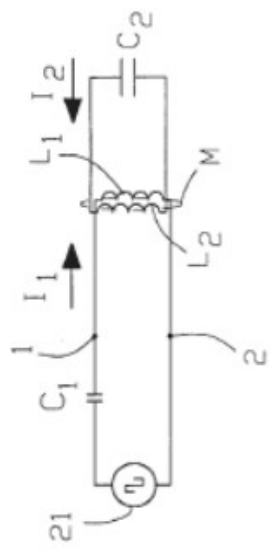


FIG. 3(c)

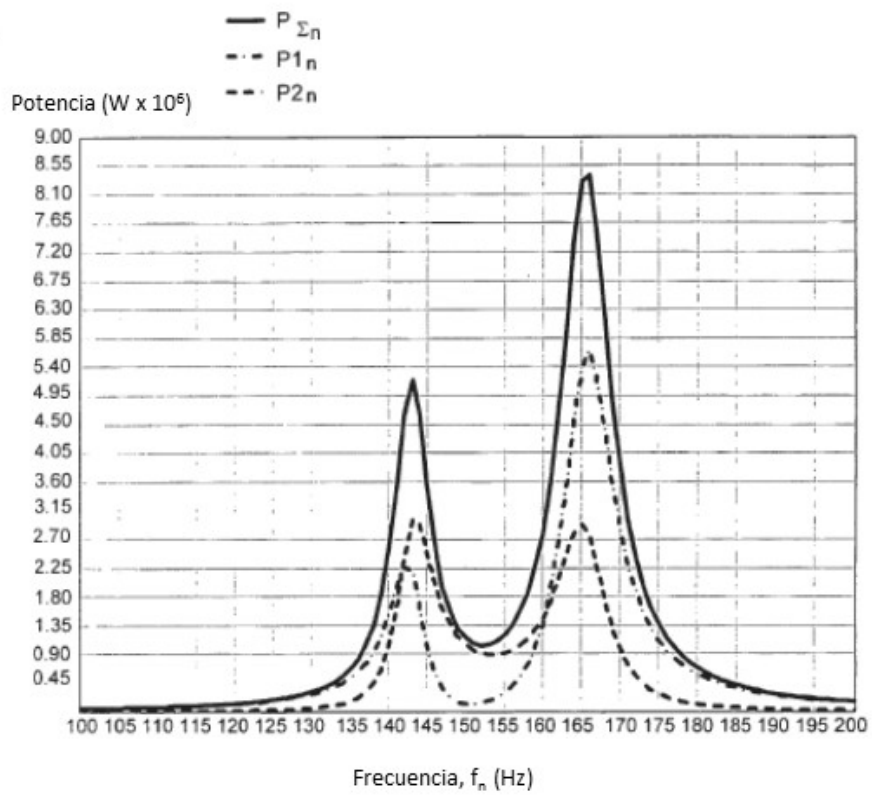


FIG. 4

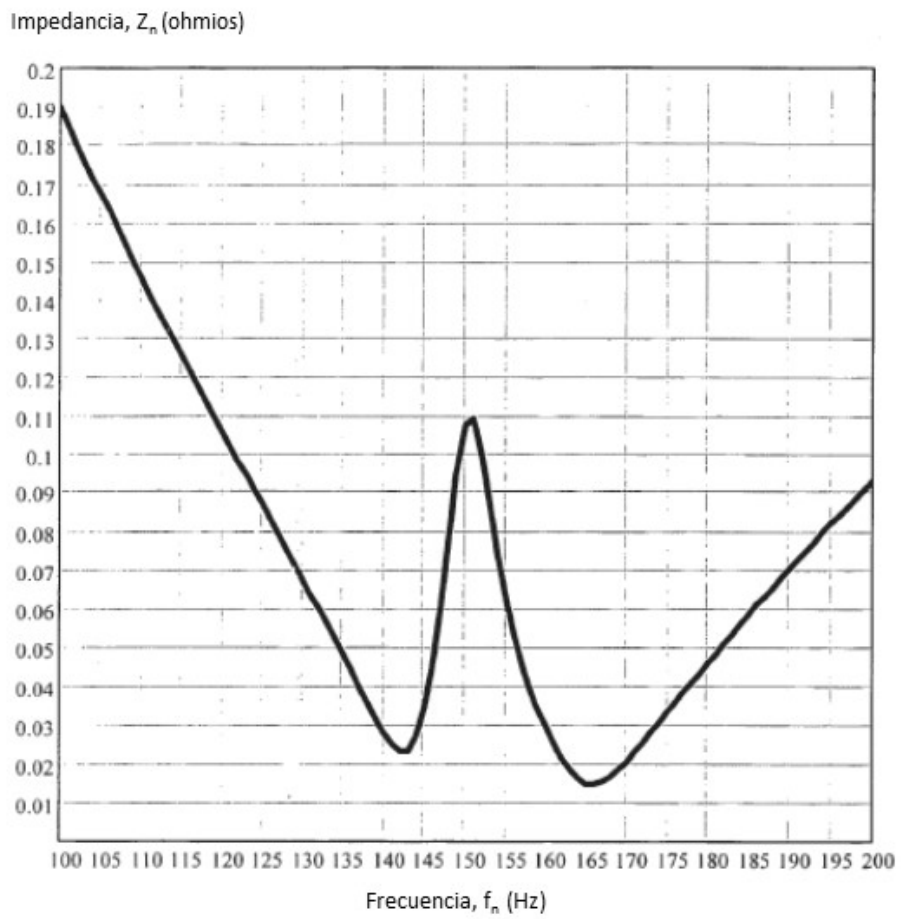


FIG. 5

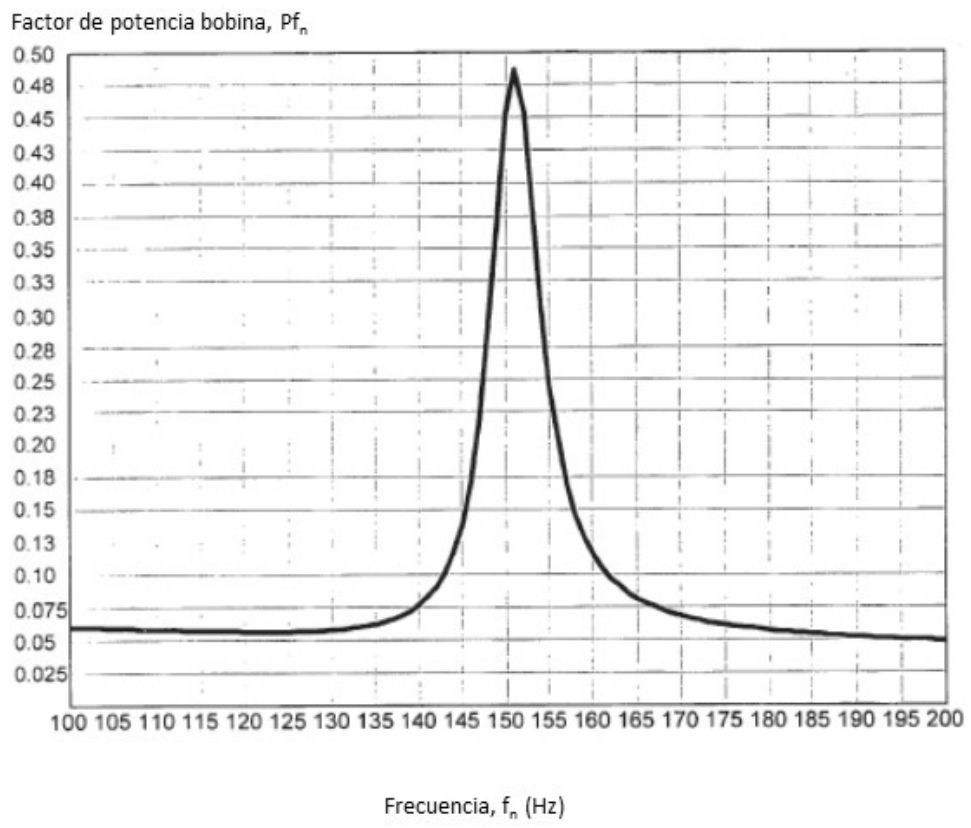


FIG. 6

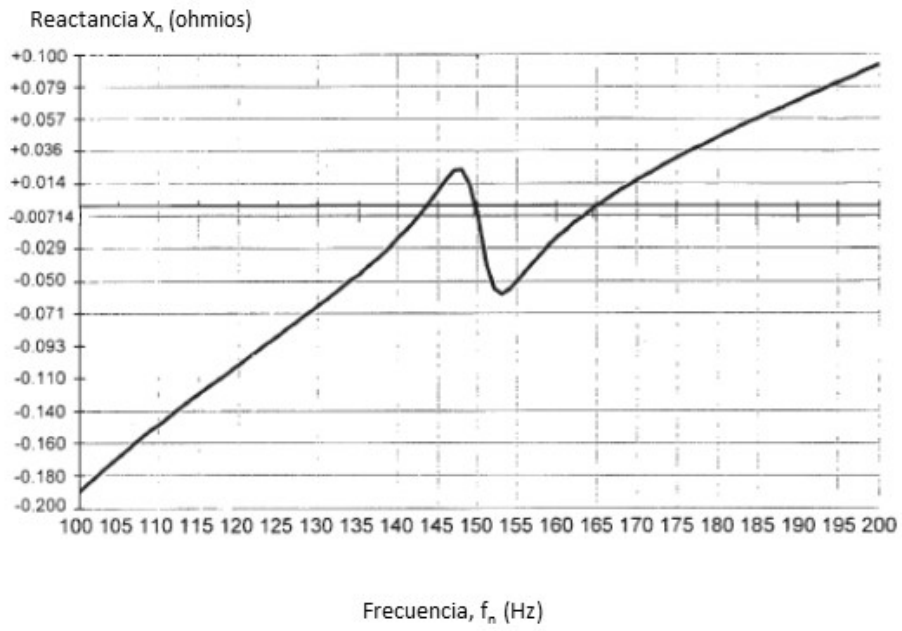


FIG. 7

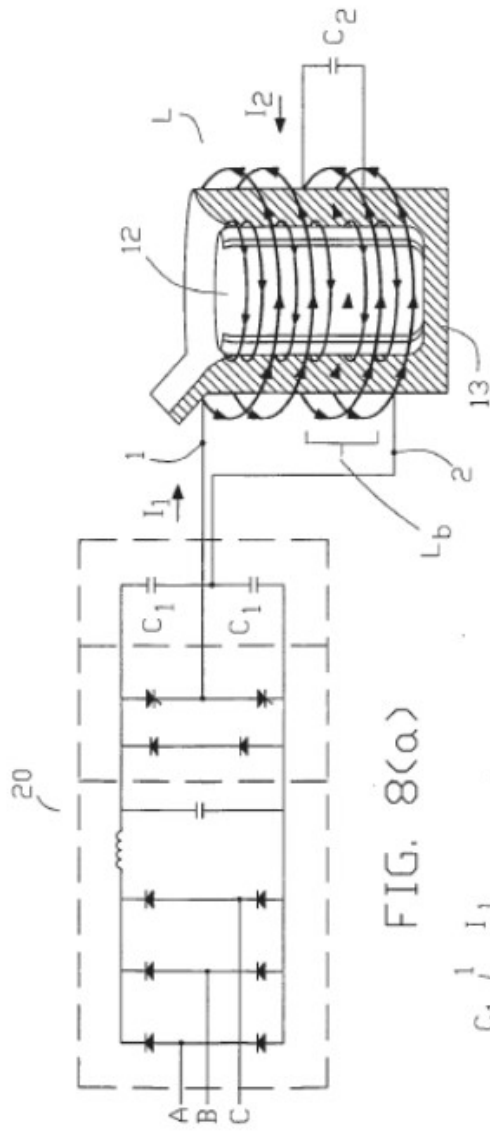


FIG. 8(a)

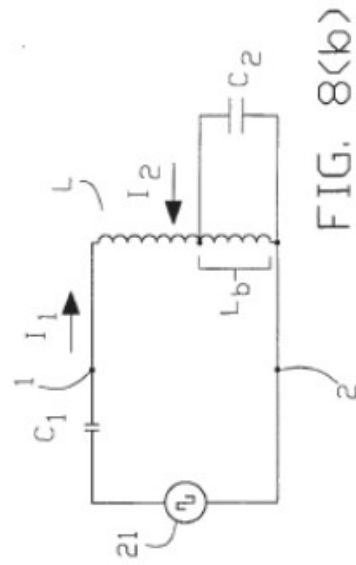


FIG. 8(b)

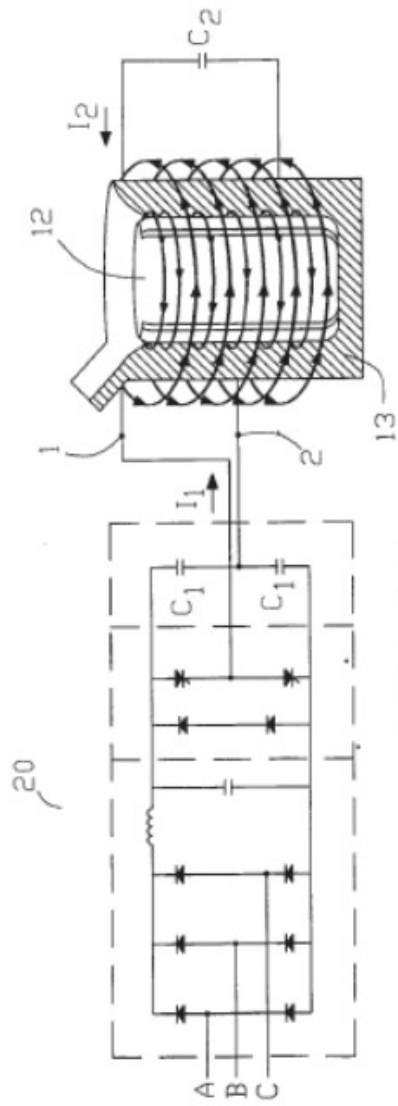


FIG. 9(a)

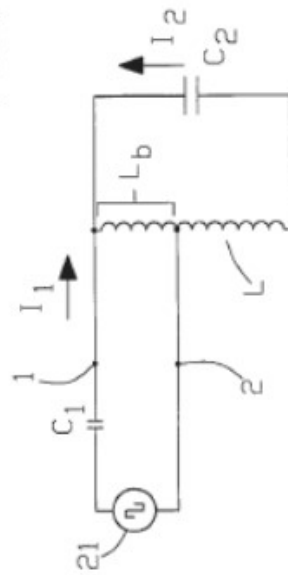


FIG. 9(b)

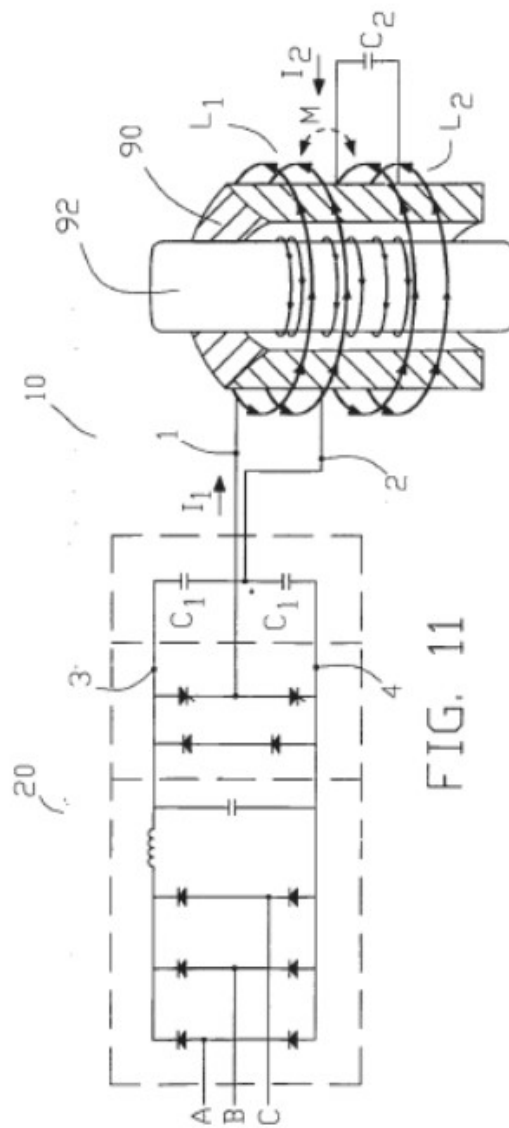


FIG. 11