

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 513 825**

51 Int. Cl.:

H05B 6/10 (2006.01)

H05B 6/40 (2006.01)

H05B 6/04 (2006.01)

H05B 6/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.06.2008** **E 08780785 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.09.2014** **EP 2172081**

54 Título: **Tratamiento térmico por inducción de piezas de trabajo**

30 Prioridad:

10.06.2007 US 760772

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

27.10.2014

73 Titular/es:

**INDUCTOTHERM CORP. (100.0%)
10 INDEL AVENUE P.O. BOX 157
RANCOCAS, NEW JERSEY 08073, US**

72 Inventor/es:

**WEISS, KUNO y
FISHMAN, OLEG S.**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 513 825 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

Tratamiento térmico por inducción de piezas de trabajo

Campo de la invención

5 La presente invención está relacionada con el tratamiento térmico por inducción de piezas de trabajo continuas o discretas en donde para controlar el tratamiento térmico por inducción de las piezas de trabajo se utiliza control de modulación o control de amplitud de anchura de impulso.

Antecedentes de la invención

10 Las piezas de trabajo alargadas, tales como árboles de accionamiento, requieren de un tratamiento térmico de características seleccionadas en la pieza de trabajo. Por ejemplo, en un extremo de un árbol de accionamiento puede proporcionarse una primera característica, tal como un piñón de engranaje, y en el otro extremo puede proporcionarse una segunda característica, tal como un acoplamiento universal. El engranaje y el acoplamiento tienen configuraciones físicas diferentes y necesitan diferentes patrones de tratamiento térmico para el endurecimiento metalúrgico de estos componentes. Además, después del tratamiento térmico, para liberar las tensiones metalúrgicas en el material de la característica, puede ser necesario templar una característica tratada térmicamente.

15 Un método para el tratamiento térmico de piezas de trabajo y características de las piezas de trabajo es el tratamiento térmico de exploración con inducción eléctrica (o progresiva). En este proceso, la pieza de trabajo generalmente se mueve a través de uno o varios inductores de exploración, aunque en otras disposiciones la pieza de trabajo puede ser estacionaria y el uno o varios inductores (bobinas) de exploración pueden moverse a lo largo de la longitud de la pieza de trabajo. Se aplica energía de CA al inductor de exploración para crear un campo magnético alrededor del inductor. El campo se acopla magnéticamente con la pieza de trabajo para calentar de manera inductiva la pieza de trabajo. La energía de CA al inductor de exploración puede variarse a medida que la pieza de trabajo pasa a través del inductor. Por ejemplo, la patente de EE.UU. n° 3.743.808 enseña cómo controlar la potencia de inducción y/o la velocidad de exploración del inductor de exploración mediante la comparación de la potencia instantánea y la velocidad instantánea con un perfil conocido de distribución de energía. El régimen al que se mueve la pieza de trabajo a través del inductor (régimen de exploración) puede utilizarse para controlar el grado de calentamiento en la sección transversal de la pieza de trabajo que está acoplada con el campo magnético.

La profundidad de penetración térmica por inducción (profundidad de penetración, δ , de corriente inducida) de una pieza de trabajo se puede calcular con la fórmula:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu F}}$$

30 dónde δ está en metros; ρ es la resistividad eléctrica de la pieza de trabajo en ohmios-metro; μ es la permeabilidad magnética relativa de la pieza de trabajo; y F es la frecuencia de la energía de inducción suministrada en Hertzios. Por lo tanto, la profundidad de penetración es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia de la corriente aplicada. Si la pieza de trabajo tiene dos características con una primera característica que necesita calentamiento a poca profundidad de penetración (p. ej. 2,5 mm) y una segunda característica que necesita calentamiento a una mayor profundidad de penetración (p. ej. 4,5 mm), el método convencional utiliza un inversor con una frecuencia de salida fija, por ejemplo 10.000 Hercios, para conseguir la profundidad de penetración menos profunda. A partir de la ecuación anterior, la frecuencia de salida del inversor debería ser inferior a 10.000 Hz para la profundidad de penetración más honda de la segunda característica de la pieza de trabajo, pero como la frecuencia es fija la exploración térmica por inducción de la segunda característica debe ralentizarse para permitir una penetración térmica más profunda por conducción térmica en la segunda característica. Además, debido al régimen de exploración más lento, debe reducirse la potencia de salida del inversor hacia la bobina de inducción para evitar un sobrecalentamiento de la superficie de la segunda característica. Además, la característica tratada térmicamente puede necesitar un templado de la característica tratada térmicamente para reducir las tensiones en la característica. Normalmente la característica se trata térmicamente primero en una primera exploración con baja potencia y alta frecuencia fija para el tratamiento térmico a la profundidad de penetración requerida, y luego se calienta en una segunda exploración con una frecuencia fija baja para templar la característica.

40 El documento US 2006/091136-A1 describe un aparato para el calentamiento por inducción de piezas de trabajo discretas que incluye una fuente de alimentación de salida de CA controlada por modulación de anchura de impulso con un inductor conectado a la salida de la fuente de alimentación. El aparato incluye unos componentes para producir un movimiento relativo entre la pieza de trabajo discreta y el inductor para acoplar magnéticamente las partes seleccionadas de la pieza de trabajo con un campo magnético generado por flujo de corriente en el inductor, y para percibir la posición relativa del inductor y de la pieza de trabajo. La frecuencia de salida de la fuente de

alimentación se ajusta a una frecuencia de tratamiento térmico cuando las partes seleccionadas de la pieza de trabajo discreta se acoplan con el campo magnético, y la potencia de salida de la fuente de alimentación se ajusta cambiando el ciclo de trabajo de la salida de la fuente de alimentación según la frecuencia de tratamiento térmico.

5 Un objetivo de la presente invención es variar la frecuencia de salida del inversor al tiempo que se ajusta el nivel de potencia de salida del inversor por modulación de anchura de impulsos, según se necesite para tratar térmicamente de manera inductiva y/o templar diversas características de una pieza de trabajo a diferentes profundidades de penetración en una exploración de inducción de la pieza de trabajo.

Otro objeto de la presente invención es controlar la frecuencia de salida de la fuente de alimentación para lograr un calentamiento óptimo por inducción mediante el control de la profundidad de penetración.

10 Otro objeto de la presente invención es variar la frecuencia de salida del inversor mientras se ajusta el nivel de potencia de salida del inversor mediante modulación de anchura de impulsos o control de amplitud, según sea necesario para templar y/o tratar térmicamente por inducción una pieza de trabajo en diversos grados.

Breve compendio de la invención

15 En un aspecto, la presente invención es un aparato y un método para el suministro de energía de CA con frecuencia variable y un ciclo de trabajo a una bobina de inducción de exploración sobre la base de los requisitos de calentamiento de la sección transversal de una pieza de trabajo que se mueve a través de la bobina de exploración. Se pueden utilizar unos medios de detección de posición, tal como un servomotor, para proporcionar una entrada a un procesador que compara la posición instantánea aportada de la pieza de trabajo con una tabla almacenada de valores de posición de pieza de trabajo, cada uno de esos valores de posición de pieza de trabajo puede ponerse en correlación con la frecuencia, el nivel de potencia y la duración temporal que corresponden a la energía térmica aplicada y necesaria en esa posición. En una realización de la invención, el procesador utiliza un algoritmo que genera una orden de modulación de anchura de impulso para los circuitos de entrada de conmutación de un inversor, de manera que una disminución de anchura de impulso del voltaje del inversor de impulso tiene como resultado una potencia de salida inferior del inversor para compensar un aumento de la potencia de salida del inversor a frecuencias más bajas. Por el contrario, un aumento de la anchura de impulso de voltaje del inversor tiene como resultado una mayor potencia de salida del inversor para compensar una disminución de la potencia de salida desde el inversor a mayores frecuencias.

25 En otro aspecto, la presente invención es un aparato y un método para el suministro de energía de CA con frecuencia variable y un ciclo de trabajo o amplitud para controlar una bobina de inducción sobre la base de los requisitos de calentamiento de la sección transversal de una pieza de trabajo que se mueve a través de la bobina.

En esta memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas se presentan otros aspectos de la invención.

Breve descripción de los dibujos

35 El breve compendio anterior, así como la siguiente descripción detallada de la invención, se entiende mejor cuando se lee conjuntamente con los dibujos adjuntos. Con la finalidad de ilustrar la invención, en los dibujos se muestran unos ejemplos de formas de la invención que actualmente se prefieren; sin embargo, la invención no se limita a las disposiciones y las instrumentalidades específicas descritas en los siguientes dibujos añadidos:

La FIG. 1 es una vista esquemática simplificada de un ejemplo del aparato de calentamiento por inducción de exploración de la presente invención;

40 La FIG. 2 es un esquema simplificado de un ejemplo de una fuente de alimentación y un circuito de carga utilizados con el aparato de calentamiento por inducción de exploración de la presente invención;

La FIG. 3(a) y la FIG. 3(b) ilustran la aplicación de la modulación de anchura de impulsos para cambiar la salida del inversor de plena potencia a media potencia;

La FIG. 4(a) ilustra el cambio de la magnitud de corriente en la carga con un cambio de la salida de frecuencia de un inversor sin modulación de anchura de impulsos;

45 La FIG. 4(b) ilustra el cambio de la magnitud de potencia de carga con un cambio de la salida de frecuencia de un inversor sin modulación de anchura de impulsos;

La FIG. 4(c) ilustra el cambio de la magnitud de resistencia de carga con un cambio de la salida de frecuencia de un inversor sin modulación de anchura de impulsos;

50 La FIG. 4(d) ilustra el cambio del factor Q del circuito de carga con un cambio de la salida de frecuencia de un inversor sin modulación de anchura de impulsos;

La FIG. 5(a) ilustra la relación entre el voltaje de salida de un inversor y la corriente en la carga con una frecuencia de salida del inversor de 3.000 Hercios y sin modulación de anchura de impulsos;

La FIG. 5(b) ilustra la relación entre el voltaje de salida de un inversor y la corriente en la carga con una frecuencia de salida del inversor de 10.000 Hercios y sin modulación de anchura de impulsos;

La FIG. 5(c) ilustra la relación entre el voltaje de salida de un inversor y la corriente en la carga con una frecuencia de salida del inversor de 30.000 Hercios y sin modulación de anchura de impulsos;

- 5 La FIG. 6 ilustra la relación entre el voltaje de salida de un inversor y la corriente en la carga para un inversor que utiliza modulación de anchura de impulsos en un ejemplo de la presente invención;

La FIG. 7 es un diagrama de flujo simplificado que ilustra un ejemplo del esquema de control de potencia de inducción de la presente invención para controlar la potencia de inducción de exploración cuando la frecuencia de salida del inversor se cambia durante la exploración;

- 10 La FIG. 8 es un esquema simplificado parcial de otro ejemplo de una fuente de alimentación y circuito de carga utilizados con el aparato de calentamiento por inducción de la presente invención en donde entre la salida del inversor y el circuito de carga se utiliza un dispositivo de coincidencia de impedancia;

La FIG. 9 es un esquema simplificado de otro ejemplo de una fuente de alimentación y un circuito de carga utilizados con el aparato de calentamiento por inducción de exploración de la presente invención; y

- 15 La FIG. 10 es un esquema simplificado de otro ejemplo de una fuente de alimentación y un circuito de carga utilizados con el aparato de calentamiento por inducción de exploración de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

- En las figuras se muestra un ejemplo del aparato de calentamiento por inducción de exploración de la presente invención. En la FIG. 1, el inversor 10 suministra una potencia de CA monofásica para el inductor (bobina) 12 de exploración a través de unos conductores eléctricos adecuados tales como unas barras colectoras. La entrada de CC al inversor puede venir de cualquier fuente de alimentación adecuada de CC. El inductor puede comprender cualquier tipo de inductor conocido en la técnica, y puede ser, por ejemplo, un inductor de una vuelta o múltiples vueltas, o un conjunto de inductores individuales que se conectan a una o varias fuentes de alimentación de CA. La pieza de trabajo 14 se mantiene en su sitio por medio del movimiento de la pieza de trabajo a través del inductor, que puede ser, por ejemplo, un conjunto de impulsor de tornillo 16, con brazos extendidos, 16a, para sostener los extremos de la pieza de trabajo. Como alternativa, la pieza de trabajo puede ser estacionaria y el inductor puede moverse a lo largo de la pieza de trabajo, se puede utilizar un movimiento coordinado y combinado de la pieza de trabajo y el inductor a la vez. También se pueden proporcionar unos medios para girar la pieza de trabajo, tales como un motor eléctrico 18, para girar la pieza de trabajo conforme se mueve a través del inductor. Unos medios de percepción de posición, tales como un servomecanismo 20, proporcionan una señal 21 de salida de posición al procesador 22. La señal de salida de posición indica la posición en el eje Y de la sección transversal de la pieza de trabajo que está dentro del inductor (es decir, la sección de la pieza de trabajo que se acopla efectivamente con el campo magnético generado por el flujo de corriente en el inductor).

- En algunos ejemplos de la invención entre la salida del inversor 10 y el circuito de carga puede proporcionarse un dispositivo de coincidencia de impedancia 40 como se ilustra en la FIG. 8. La entrada de CC al inversor puede ser como se muestra en la FIG. 2 o cualquier otro método adecuado. Para el dispositivo de coincidencia de impedancia pueden utilizarse componentes activos y/o pasivos de circuito. A modo de ejemplo, y no de limitación, puede utilizarse un transformador o autotransformador de relación fija, o un transformador o autotransformador con múltiples tomas y un aparato de cambio de toma para proporcionar flexibilidad adicional en la coincidencia de impedancia entre la salida del inversor y el circuito de carga. Como alternativa el dispositivo de coincidencia de impedancia puede utilizar componentes activos de circuito, o una combinación de componentes activos y pasivos de circuito, para lograr una coincidencia dinámica de impedancia a medida que cambia la impedancia de una carga. Por ejemplo, para hacer ajustes dinámicos en la impedancia puede percibirse uno o más parámetros de potencia de salida de inversor y/o parámetros eléctricos de carga y aportarse a la red de circuitos de coincidencia dinámica de impedancia. El dispositivo de coincidencia de impedancia 40 puede utilizarse en combinación con cualquiera de los otros ejemplos de la invención.

- La pieza de trabajo puede tener una o varias características, tales como las características 14a, 14b y 14c que pueden necesitar diferentes profundidades de penetración de corriente de la potencia de calentamiento por inducción y/o templado ya que estas características pasan a través del inductor. Las regiones de la pieza de trabajo entre estas características pueden necesitar o no tratamiento térmico. Las múltiples características pueden separarse como se muestra en la FIG. 1 o situarse juntas entre sí.

- El procesador 22 procesa la señal de salida de los medios de percepción de posición para determinar el nivel de potencia, la frecuencia y la duración en tiempo para que se consiga el calentamiento por inducción en la posición aportada de la pieza de trabajo con relación a la bobina de inducción como se describe adicionalmente más adelante.

La FIG. 2 es un esquema simplificado de un ejemplo de una fuente de alimentación de CA a CC utilizada con el inversor 10 que ilustra un método para suministrar energía de CC al inversor. El tramo 30 de rectificador comprende un rectificador de puente 32 de onda completa con una entrada de potencia de CA en las líneas A, B y C suministradas desde una fuente adecuada, tal como la red eléctrica. El tramo de filtro 34 comprende un reactor de limitación de corriente L_{CLR} y un condensador de filtro de CC C_{FIL} . La sección 10 de inversor comprende cuatro dispositivos de conmutación, S_1 , S_2 , S_3 y S_4 , y unos diodos asociados antiparalelos D_1 , D_2 , D_3 y D_4 , respectivamente. Cada dispositivo de conmutación puede ser cualquier dispositivo adecuado de estado sólido, tal como un transistor bipolar de puerta aislada (IGBT). El circuito de carga conectado a la salida del inversor 10 comprende el inductor de exploración L_{BOBINA} y la pieza de trabajo 14, que tiene unas regiones o características que se acoplan con el campo magnético generado alrededor del inductor cuando la pieza de trabajo o el inductor se mueven relativamente entre sí. La resistencia de la pieza de trabajo y del inductor de exploración (R_{BOBINA}) comprende la resistencia de carga R_{CARGA} .

La FIG. 3(a) ilustra la forma de onda típica de voltaje de salida (PLENO V_{SALIDA}) del inversor de puente mostrado en la FIG. 2 sin modulación de la anchura de impulsos de voltaje. Los conmutadores S_1 y S_4 de inversor conducen durante un primer periodo de tiempo, T_1 , y los conmutadores S_2 y S_3 de inversor conducen durante un segundo periodo de tiempo sin superposición, T_1 , para producir la forma de onda de pleno voltaje de salida con una frecuencia igual a $1/2T_1$. La FIG. 3(b) ilustra la forma de onda típica de voltaje de salida (MEDIO V_{SALIDA}) del inversor de puente con un 50 por ciento de ciclo de trabajo (α). Cada uno de los conmutadores de inversor continúa conduciendo durante el mismo periodo de tiempo, T_1 , que en la FIG. 3(a), pero con los periodos de conducción para los conmutadores S_3 y S_4 avanzados medio periodo de tiempo (es decir, el ciclo de trabajo es igual al 50 por ciento) para producir la mitad ilustrada del pleno voltaje de salida). Con esta disposición, la carga se corta cada medio periodo. El cambio de la duración de los periodos de conducción que se superponen para los conmutadores S_3 y S_4 tiene como resultado diferentes valores para el ciclo de trabajo. Como la potencia es proporcional al cuadrado del voltaje suministrado, la potencia aplicada al inductor también cambiará cuando cambie el ciclo de trabajo. En la presente invención, el control de frecuencia variable se consigue cambiando el periodo de tiempo, T_1 , mientras que la magnitud del voltaje (potencia) se ajusta cambiando el ciclo de trabajo.

Los efectos de las características de generación de una fuente de alimentación con frecuencia de salida variable que no utiliza el control de modulación de anchura de impulsos de la presente invención se ilustra con un circuito de carga de línea de referencia para una pieza de trabajo en particular. Para un inversor que tiene una potencia de salida de 100.000 vatios ($P(f_0)$) a 635 voltios (V_{SALIDA}), y una frecuencia (f_0) de 10.000 Hercios, las características del circuito de carga de línea de referencia se establecen como:

$L_0 = 30 \times 10^{-6}$ Henrios inductancia de la carga del inversor;

$R_0 = 0,4$ ohmios resistencia de la carga del inversor; y

$Q_0 = (2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot L_0) / R_0 = 4,712$ para el factor Q de circuito de carga.

La corriente pico en la carga de línea de referencia, I_0 , se puede calcular como 772,45 amperios a partir de la ecuación (1):

$$I_0 = \frac{V_{SALIDA}}{R_0} \cdot (1 - e^{\frac{-R_0}{2L_0 \cdot f_0}}).$$

La FIG. 4(a) ilustra la disminución de la corriente, $I(f)$, del inductor normalizada a la corriente de la línea de referencia, a medida que aumenta la frecuencia de salida, f , del inversor, que puede calcularse con la ecuación (2):

$$I(f) = \frac{V_{SALIDA}}{2R_0 \sqrt{\frac{f}{f_0}}} \cdot (1 - e^{\frac{-R_0}{2L_0 \sqrt{f \cdot f_0}}}).$$

La FIG. 4(b) ilustra la disminución de la potencia de calentamiento por inducción, $P(f)$, normalizada a la potencia de la línea de referencia, a medida que aumenta la frecuencia de salida, f , del inversor, que puede calcularse con la ecuación (3):

$$P(f) = \frac{V_{SALIDA}^2}{2R_0 \sqrt{\frac{f}{f_0}}} \cdot \left(1 - e^{\frac{-R_0}{2L_0 \sqrt{f \cdot f_0}}}\right)^2.$$

La FIG. 4(c) ilustra el aumento de la resistencia de carga $R(f)$, cuando aumenta la frecuencia de salida, f , del inversor, que puede calcularse con la ecuación (4):

$$R(f) = R_0 \cdot \sqrt{\frac{f}{f_0}}.$$

5

La FIG. 4(d) ilustra el aumento del factor Q del circuito de carga cuando aumenta la frecuencia de salida, f , del inversor, que puede calcularse con la ecuación (5):

$$Q(f) = Q_0 \cdot \sqrt{\frac{f}{f_0}}.$$

De la FIG. 5(a) a la FIG. 5(c) ilustran las relaciones generalizadas de la FIG. 4(a) a la FIG. 4(d) para un ejemplo específico en donde no se utiliza control de modulación de anchura de impulsos de la presente invención. La FIG. 5(c) representa gráficamente la generación de voltaje y de corriente de un inversor que funciona a plena potencia nominal y a una frecuencia de 30.000 Hercios sin control de modulación de anchura de impulso.

En la FIG. 5(a) la frecuencia de salida del inversor se disminuye a 3.000 Hercios y la salida de corriente (y potencia) es relativamente alta sin control de modulación de anchura de impulsos. En la presente invención puede utilizarse control de modulación de anchura de impulsos de la salida del inversor para producir la salida de potencia del inversor utilizando un ciclo de trabajo relativamente largo.

En la FIG. 5(b) la frecuencia de salida del inversor está en 10.000 Hercios y la salida de potencia es menor que la potencia de salida a 3.000 Hercios sin control de modulación de impulsos, pero todavía es mayor que la plena potencia nominal (corriente) del inversor mostrado en la FIG. 5(c). En la presente invención puede utilizarse control de modulación de anchura de impulsos de la salida del inversor con un ciclo de trabajo inferior al utilizado a 3.000 Hercios para mantener la salida de potencia del inversor igual o por debajo del valor nominal.

En general, en la presente invención, se utiliza control de modulación de anchura de impulsos para cambiar la potencia de salida del inversor en cualquier frecuencia de funcionamiento de la que se produciría sin control de modulación de anchura de impulsos. En general, el ciclo de trabajo se disminuirá cuando la frecuencia disminuye para reducir la potencia de salida del inversor, y el ciclo de trabajo se aumenta cuando la frecuencia aumenta para aumentar la potencia de salida del inversor.

La FIG. (6) ilustra además las características de la corriente en la carga con control de modulación de anchura de impulsos. Cuando hay un voltaje de salida de inversor distinto de cero, la corriente en la carga, I_{CARGA} , puede calcularse con la ecuación (6):

$$I_{CARGA} = \frac{V_{SALIDA}}{R_{CARGA}} \left(1 - e^{\frac{R_{CARGA}}{L_{CARGA}} \tau}\right)$$

30

Cuando hay un voltaje de salida de inversor igual a cero, la corriente en la carga, puede calcularse con la ecuación (7):

$$I_{CARGA} = I_{INICIAL} \cdot \frac{R_{CARGA}}{R_{CARGA} + L_{CARGA} \cdot \frac{di}{dt}}$$

donde $I_{INICIAL}$ es la magnitud de la corriente cuando el voltaje de salida del inversor se transforma en cero.

En la FIG. 6, cuanto más corto es el ciclo de trabajo, más pequeño es el valor máximo de la corriente en la carga (y la potencia) antes de que la corriente caiga cuando el voltaje de salida es cero. Por el contrario, cuanto más largo es el ciclo de trabajo, más grande es el valor máximo de la corriente en la carga (y la potencia) antes de que la corriente caiga cuando el voltaje de salida es cero.

La FIG. 7 ilustra un diagrama de flujo simplificado para un ejemplo no limitativo del proceso de calentamiento por inducción de exploración de la presente invención. Las rutinas identificadas en el diagrama de flujo se pueden implementar en un software informático que puede ejecutarse con un equipo adecuado. La rutina 100 aporta una coordenada de exploración (Y) de pieza de trabajo (WP) que representa la posición de la pieza de trabajo dentro del inductor 12. La rutina 102 aporta valores de potencia (P_Y), frecuencia (F_Y) y tiempo (T_Y) para el calentamiento por inducción en la posición Y. Estos valores pueden almacenarse previamente en un dispositivo de memoria, por ejemplo, como una tabla de búsqueda basándose en valores establecidos por ensayos experimentales de la pieza de trabajo con el aparato. Como alternativa un operario del aparato de inducción de exploración puede aportar manualmente estos valores o se puede utilizar otro método para determinar la frecuencia, el nivel de potencia y, si se usa, el valor variable de tiempo necesarios para el tratamiento térmico por inducción de cada posición de la pieza de trabajo. La rutina 104 calcula el ciclo de trabajo necesario (DC_Y) para la salida del inversor a partir de la ecuación (8):

El ciclo de trabajo (en porcentaje) = $[P_Y / P(F_Y)] \times 100$,

donde $P(F_Y)$ se calcula con la ecuación (3) con un circuito de carga de línea de referencia adecuado determinado a partir de la pieza de trabajo real que se trata térmicamente por inducción.

La rutina 106 controla la conmutación de los dispositivos de conmutación de suministro de energía para conseguir la frecuencia de salida y el ciclo de trabajo deseados. En este ejemplo no limitativo, la rutina 106 saca unas señales de control de inversor de puerta para los circuitos de entrada para que los conmutadores del inversor consigan la frecuencia requerida, F_Y , y el ciclo de trabajo DC_Y . La rutina 108 determina si la potencia de salida medida real está en la potencia establecida P_Y . La potencia generada de salida real puede aportarse utilizando dispositivos adecuados de percepción. Si la potencia medida real no es igual a la potencia establecida requerida, entonces el ciclo de trabajo se ajusta adecuadamente en la rutina 110 y la rutina 108 se repite. Si la potencia medida real es igual a la potencia establecida requerida, entonces la rutina 112 comprueba si ha expirado el tiempo establecido T_Y . Si el tiempo establecido no ha expirado, entonces la rutina 108 se repite; si el tiempo establecido ha expirado, entonces la rutina 114 genera una señal de control para el sistema de colocación de pieza de trabajo para hacer avanzar la pieza de trabajo a la siguiente posición progresiva para el tratamiento térmico por inducción y regresa a la rutina 100 para la ejecución.

En otros ejemplos de la invención el tiempo para el calentamiento por inducción en cada posición Y será el mismo para todas las posiciones de la pieza de trabajo dentro del inductor; para esta disposición, puede utilizarse control de frecuencia y control de ciclo de trabajo, cuando cambia la frecuencia, para calentar por inducción cada posición del inductor a medida que avanza cada posición a través del inductor a una velocidad constante.

En otros ejemplos de la invención, el movimiento y la colocación de la pieza de trabajo a través del inductor puede ser predeterminado, por ejemplo, cuando un aparato de exploración de inducción trata térmicamente de manera secuencial muchas piezas de trabajo idénticas. En estas disposiciones, los ajustes de potencia, frecuencia, tiempo y ciclo de trabajo en cada posición de la pieza de trabajo pueden ser predeterminados por ensayos experimentales con la pieza de trabajo y el aparato de exploración de inducción de la presente invención, y ser ejecutados sin un aporte o cálculo adicionales de alguno o todos estos valores para cada pieza de trabajo sucesiva idéntica tratada térmicamente con el aparato. La colocación progresiva o secuencial de las partes o características de la pieza de trabajo en el inductor puede conseguirse como un movimiento discreto escalonado de la pieza de trabajo o del inductor, o una combinación de ambos, ya sea en pasos diminutos finos que se aproximan a un movimiento continuo de la pieza de trabajo o del inductor, o como pasos más bastos discernibles visualmente como un movimiento escalonado. Mientras que los términos "parte seleccionada", "múltiples características" y "ubicaciones" se utilizan para describir secciones de la pieza de trabajo colocadas dentro del inductor para el tratamiento térmico por inducción con frecuencia y ciclo de trabajo variables, la presente invención incluye la variación de frecuencia y/o ciclo de trabajo mientras la parte, característica o ubicación pasan a través del inductor. Es decir que unas subsecciones de cada parte, característica o ubicación pueden tratarse térmicamente con frecuencias y ciclos de trabajo variables cuando las subsecciones de la parte, característica o ubicación pasan a través del inductor.

En otros ejemplos de la invención puede utilizarse control de modulación de anchura de impulsos para controlar la salida de potencia del inversor ya que la frecuencia de salida del inversor varía en una posición dada de la pieza de trabajo, por ejemplo, para lograr un tratamiento térmico de templado para una característica de la pieza de trabajo.

Un tratamiento térmico adicional secuencial de las características que comprende la pieza de trabajo no se limita al tratamiento térmico secuencial en el orden en que se colocan las características en la pieza de trabajo. Por ejemplo, haciendo referencia a la pieza de trabajo 14 de la FIG. 1, las características 14a, 14b y 14c se pueden colocar y tratar térmicamente de manera secuencial con ese orden a través del inductor 12. Como alternativa, por ejemplo, las características 14a, 14c y 14b pueden colocarse y tratarse térmicamente de manera secuencial en ese orden a través del inductor.

En otros ejemplos de la invención puede utilizarse control de modulación de anchura de impulsos para controlar la salida de potencia del inversor a medida que varía la frecuencia del inversor, como se describe en esta memoria, para optimizar los efectos del calentamiento por inducción en diversos tipos de piezas de trabajo para diversos tipos de tratamientos térmicos por inducción, tales como, pero no limitados a, tratamiento térmico superficial, tratamiento térmico de penetración a profundidades de penetración variables de la pieza de trabajo hasta un calentamiento completo del núcleo, o tratamiento térmico para aplicación de material, por ejemplo para lograr la adhesión de un material de revestimiento aplicado a la superficie de la pieza de trabajo mediante calentamiento por inducción. La pieza de trabajo puede ser una pieza de trabajo continua, por ejemplo una tira, alambre o tubería de dimensiones variables, ya sea hueca o sólida, o piezas de trabajo discretas tales como secciones sólidas, secciones tubulares, bloques rectangulares o cuadrados o cualquier otra forma que necesite un calentamiento completo o parcial por inducción para lograr cambios en la estructura o en las características metalúrgicas de la pieza de trabajo, o para permitir la aplicación de materiales a la pieza de trabajo original, por ejemplo, en revestimiento, soldadura fuerte o difusión.

Por ejemplo, a través de uno o más inductores que se conectan a la salida de un inversor puede alimentarse continuamente una pieza de trabajo continua, tal como, pero no limitada a, un alambre, ya sea directamente o a través de un dispositivo de coincidencia de impedancia. Puede proporcionarse un aparato adecuado para alimentar el alambre a través del uno o más inductores, tal como, pero no limitado a, un carrete de suministro de alambre en un lado del uno o más inductores y un carrete receptor impulsado eléctricamente en el lado opuesto del uno o más inductores. El alambre continuo puede representarse como una progresión continua de secciones transversales de la pieza de trabajo continua que pasa a través del uno o más inductores mientras se utiliza control de modulación de anchura de impulsos para controlar la salida de potencia del inversor a medida que varía la frecuencia del inversor para lograr el tipo deseado de tratamiento térmico para cada una de las secciones transversales progresivas que pasan a través del uno o más inductores. Por otra parte, en otros ejemplos de la invención puede percibirse dinámicamente uno o más parámetros de la pieza de trabajo, tal como, pero no limitado a, el diámetro en sección transversal de cada sección transversal progresiva del alambre antes de ser alimentada a través del uno o más inductores de modo que puedan percibirse las desviaciones de un diámetro nominal en sección transversal y puedan utilizarse para ajustar el control de modulación de anchura de impulsos y la frecuencia a medida que el diámetro en sección transversal se desvía del nominal para lograr un tratamiento térmico deseado por inducción en las secciones transversales progresivas. Mediante este método, por ejemplo, puede mantenerse una temperatura uniforme superficial calentada por inducción aún mientras el diámetro de las secciones transversales progresivas de la pieza de trabajo se desvía de un valor nominal. La percepción del diámetro en sección transversal de las secciones transversales progresivas puede lograrse, por ejemplo, mediante una distribución de observación por láser colocada adecuadamente alrededor del alambre. El diámetro en sección transversal es representativo de un cambio paramétrico de la pieza de trabajo que puede ser percibido para el ajuste del control de modulación de anchura de impulsos y la frecuencia de la presente invención. Además, puede variarse la velocidad a la que se mueve el alambre a través del uno o más inductores para ajustar el periodo de tiempo que cada una de las secciones transversales progresivas se acopla con el campo magnético generado por el flujo de corriente a través del uno o más inductores para lograr el tratamiento térmico deseado por inducción de cada una de las secciones transversales progresivas. En otros ejemplos de la invención la una o más bobinas de inducción también pueden moverse a lo largo de la longitud de la pieza de trabajo, ya sean solas o en combinación con el movimiento de la pieza de trabajo.

Para las piezas de trabajo discretas, a través de la una o más bobinas de inducción se puede alimentar una serie de piezas de trabajo discretas mediante un aparato transportador adecuado mientras se logra el tratamiento térmico de cada sección transversal progresiva de cada pieza de trabajo discreta de una manera similar al tratamiento térmico de piezas de trabajo continuas como se ha descrito antes. En algunas aplicaciones, a través de la una o más bobinas de inducción puede alimentarse individualmente una pieza de trabajo discreta, o la pieza de trabajo puede sostenerse estacionaria y la una o más bobinas pueden moverse a lo largo de la longitud de la pieza de trabajo, o puede utilizarse un movimiento coordinado de la pieza de trabajo y de una o más bobinas de inducción.

En otros ejemplos de la presente invención, puede utilizarse un control de amplitud, ya sea solo o en combinación con control de modulación de anchura de impulsos como se ha descrito antes, para cambiar la potencia de salida del inversor a cualquier frecuencia de funcionamiento a partir de la que se produciría sin control de amplitud ya sea solo o en combinación con control de modulación de anchura de impulsos.

Un método para lograr control de amplitud se ilustra en el diagrama esquemático simplificado mostrado en la FIG. 9. El rectificador 32a puede componerse de unos elementos activos de conmutación 33a-33f, tal como unos rectificadores controlados por silicio, de modo que la amplitud del voltaje de salida en CC del rectificador (aporte al

inversor 10) pueda cambiarse mediante el control de los elementos activos de conmutación para proporcionar un control de amplitud de salida de inversor en combinación con una salida variable de frecuencia del inversor 10.

5 Como alternativa puede utilizarse un regulador recortador, representado por el ejemplo no limitativo de circuito regulador recortador 42 en la FIG. 10 para proporcionar potencia regulada de CC a la entrada de inversor 10 para cambiar la potencia de salida de inversor a cualquier frecuencia de funcionamiento desde la que se produciría sin control de amplitud.

Como alternativa, en cualquiera de los ejemplos antes mencionados de la invención un control de amplitud puede reemplazar al control de modulación de anchura de impulsos.

10 Cabe señalar que los ejemplos anteriores se han proporcionado meramente con la finalidad de explicación y de ninguna manera deben interpretarse como limitativos de la presente invención. Si bien la invención se ha descrito haciendo referencia a diversas realizaciones, se entiende que las palabras que se han utilizado en esta memoria son palabras descriptivas e ilustrativas, en lugar de palabras limitativas. Además, aunque la invención se haya descrito en esta memoria haciendo referencia a unos medios, materiales y realizaciones particulares, la invención no está pensada para limitarse a los detalles descritos en esta memoria; más bien, la invención se extiende a todas las estructuras, métodos y usos funcionalmente equivalentes, tales como los que están dentro del alcance de los las reivindicaciones adjuntas. Los expertos en la técnica, que tienen el beneficio de las enseñanzas de esta memoria descriptiva, pueden efectuar numerosas modificaciones en la misma y se pueden hacer cambios sin salir del alcance de la invención en sus aspectos.

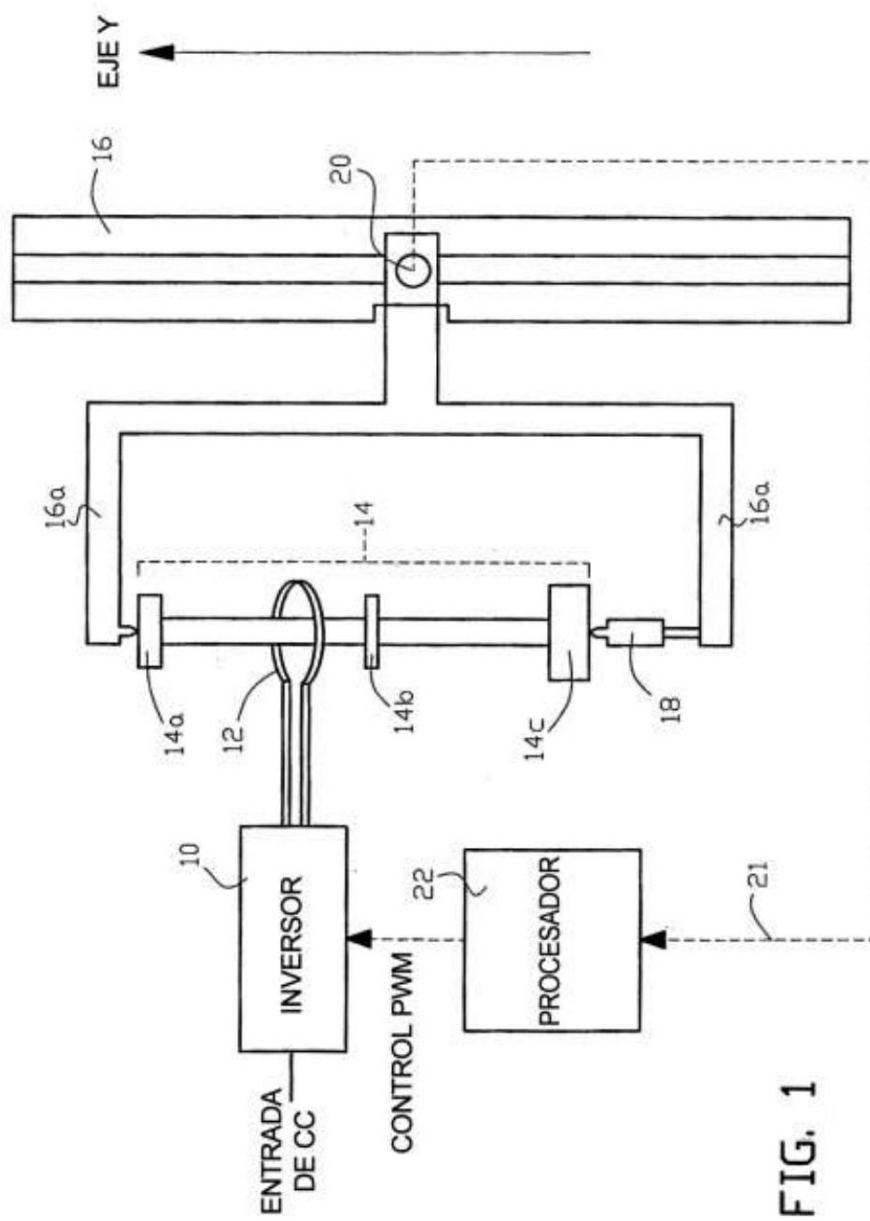
15

REIVINDICACIONES

1. Aparato para calentamiento por inducción de una pieza de trabajo continua o discreta, el aparato comprende:
una fuente de alimentación (10) que tiene una salida de CA con modulación de anchura de impulsos;
un inductor (12) conectado a la salida de CA para generar un campo magnético de CA;
5 unos medios para producir un movimiento relativo entre la pieza de trabajo continua o discreta y el inductor para acoplar magnéticamente secciones transversales progresivas de la pieza de trabajo continua o discreta con el campo magnético; y
unos medios para la detección de las secciones transversales progresivas acopladas magnéticamente con el campo magnético de CA;
10 caracterizado por
unos medios para ajustar selectivamente la frecuencia de la salida de CA cuando cada una de las secciones transversales progresivas se acopla magnéticamente con el campo magnético de CA para el tratamiento térmico por inducción en respuesta a un cambio en la dimensión en sección transversal de las secciones transversales progresivas acopladas magnéticamente con el campo magnético de CA; y
15 unos medios para ajustar selectivamente la potencia de la salida de CA mediante el cambio del ciclo de trabajo de la salida de CA cuando cada una de las secciones transversales progresivas se acopla con el campo magnético de CA para el tratamiento térmico por inducción y la frecuencia de la salida de CA se ajusta en respuesta al cambio en la dimensión en sección transversal de las secciones transversales progresivas.
- 20 2. Un aparato según la reivindicación 1, que incluye unos medios para ajustar selectivamente el periodo de tiempo que cada una de las secciones transversales progresivas se acopla con el campo magnético de CA para el tratamiento térmico por inducción.
3. Un aparato según la reivindicación 1 o 2, en donde el cambio de la dimensión en sección transversal comprende un cambio del diámetro en sección transversal de la pieza de trabajo continua o discreta.
- 25 4. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que incluye un dispositivo de coincidencia de impedancia (40) conectado entre la salida de CA de la fuente de alimentación y el inductor.
5. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la fuente de alimentación es un inversor que tiene una entrada de CC y una salida de CA y los medios para ajustar selectivamente la potencia de la salida de CA comprenden además el cambio de la amplitud de la entrada de CC al inversor.
- 30 6. Un método para el tratamiento térmico por inducción de una pieza de trabajo continua o discreta, que comprende las etapas de:
suministrar energía eléctrica a por lo menos un inductor (12) para generar un campo magnético de CA alrededor del por lo menos un inductor;
35 colocar secuencialmente la pieza de trabajo continua o discreta en secciones transversales progresivas de la pieza de trabajo continua o discreta con respecto al por lo menos un inductor para someter las secciones transversales progresivas a un tratamiento térmico al llevar las secciones transversales progresivas a las inmediaciones del campo magnético de CA; y
detectar las secciones transversales progresivas con respecto al por lo menos un inductor que se someten al tratamiento térmico;
40 caracterizado por
variar selectivamente la frecuencia de la energía eléctrica mientras cada una de las secciones transversales progresivas se somete secuencialmente al tratamiento térmico; y
variar selectivamente la magnitud de la energía eléctrica mediante el cambio del ciclo de trabajo de la energía eléctrica mientras cada una de las secciones transversales progresivas de la pieza de trabajo
45 continua o discreta se coloca secuencialmente en las inmediaciones del campo magnético de CA y se ajusta la frecuencia de la energía eléctrica.
7. Un método según la reivindicación 6, que incluye la etapa de variar selectivamente el tiempo de tratamiento térmico que cada una de la una o más secciones transversales progresivas se acopla inductivamente con el campo magnético.

8. Un método según la reivindicación 6 o 7, en donde el tratamiento térmico es un tratamiento térmico superficial, un tratamiento térmico de penetración en sección transversal o un tratamiento térmico de adhesión.

9. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, que incluye la etapa de hacer coincidir la impedancia del suministro de energía eléctrica con la impedancia de la pieza de trabajo continua o discreta.



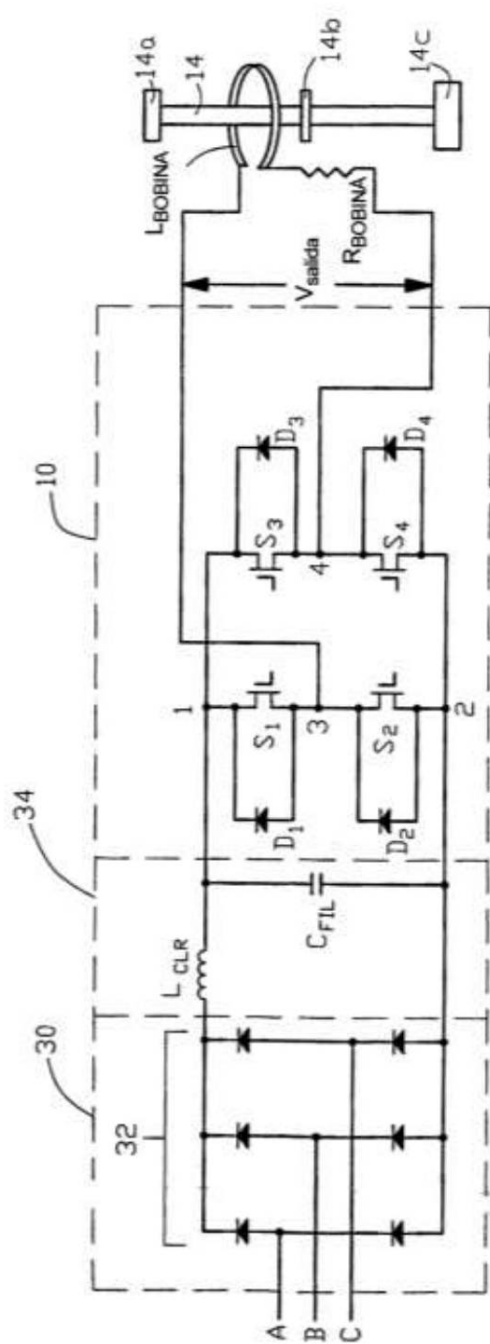


FIG. 2

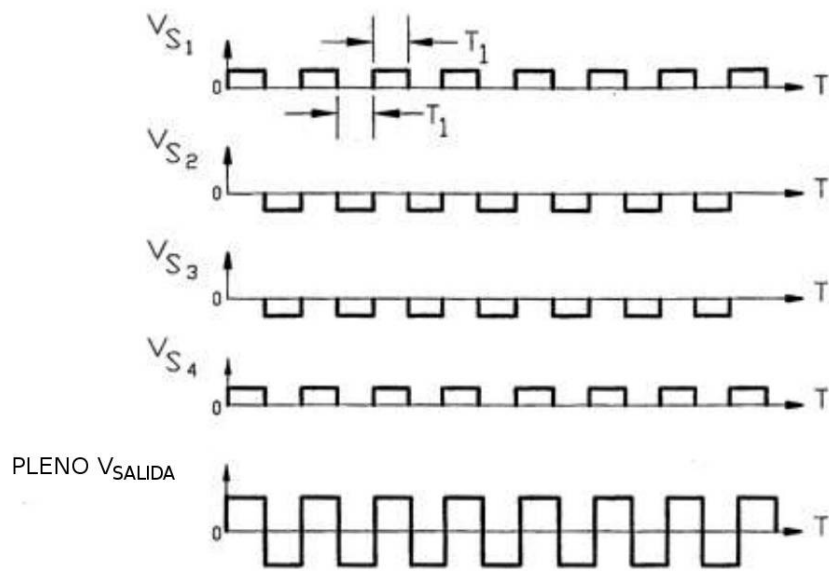


FIG. 3(a)

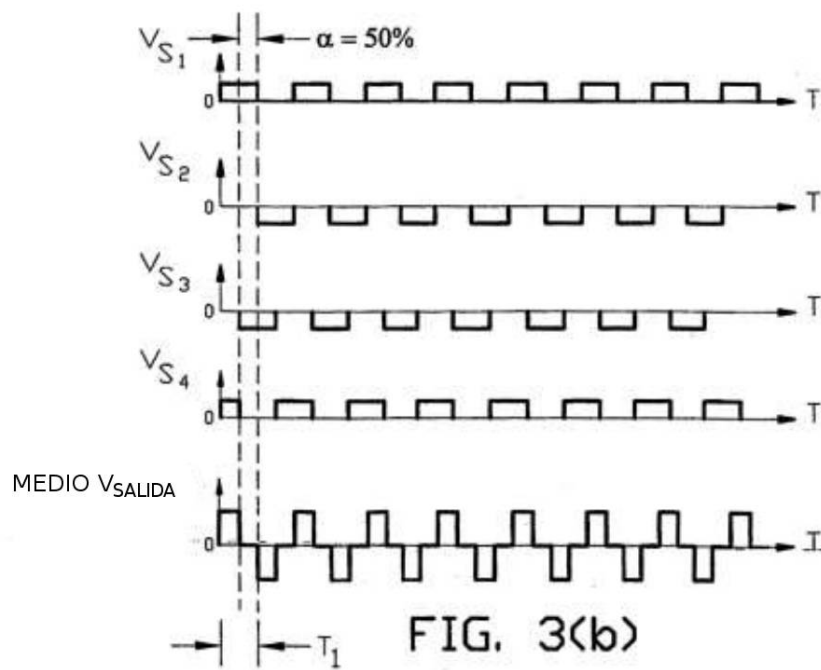


FIG. 3(b)

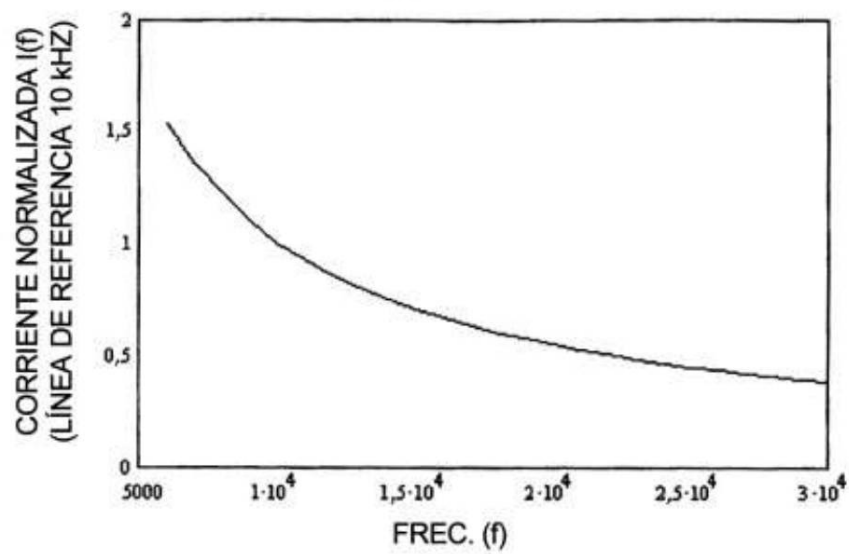


FIG. 4(a)

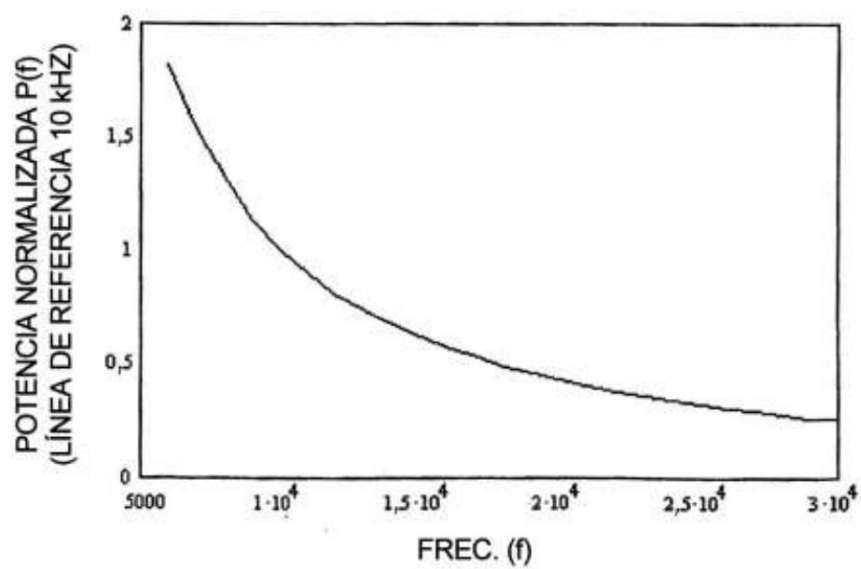


FIG. 4(b)

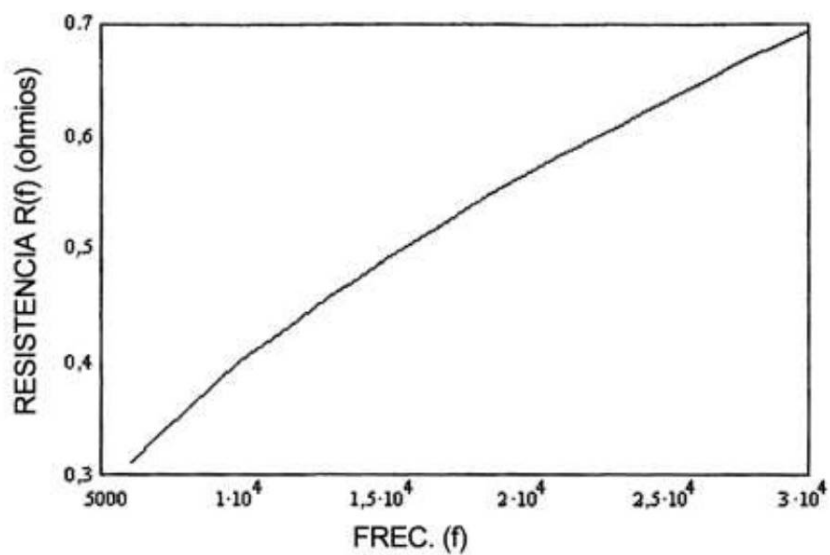


FIG. 4(c)

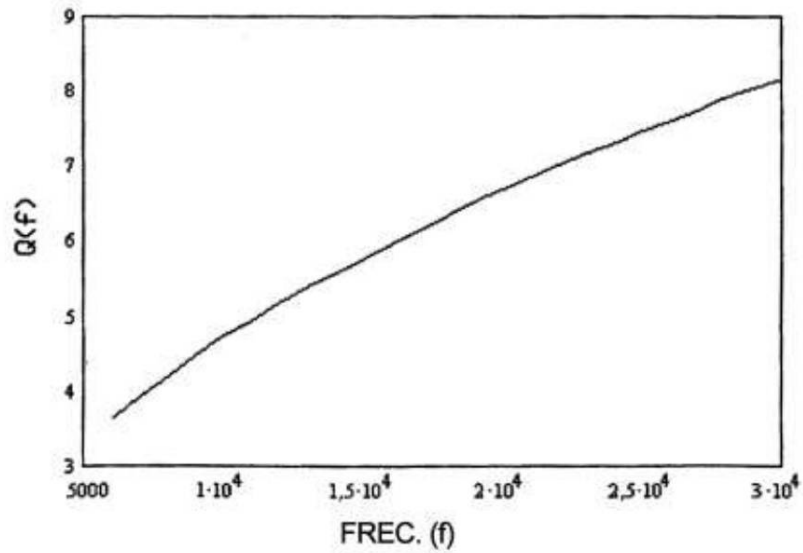


FIG. 4(d)

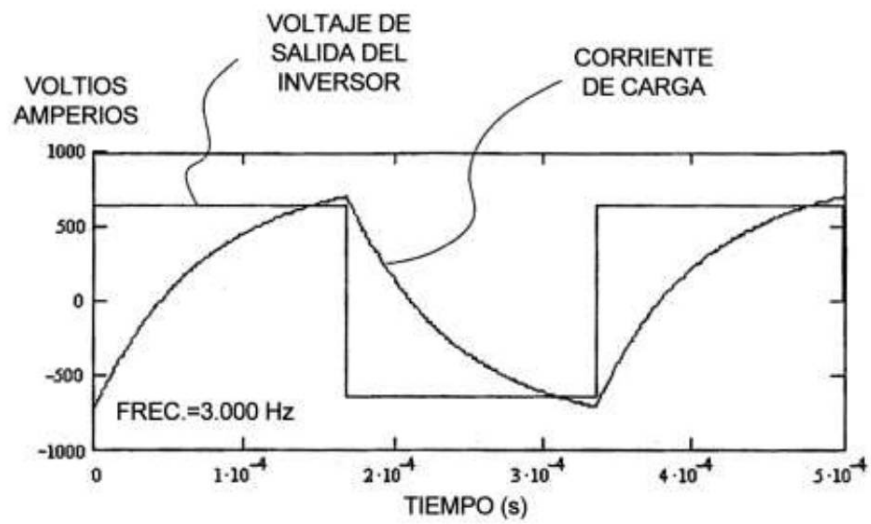


FIG. 5(a)

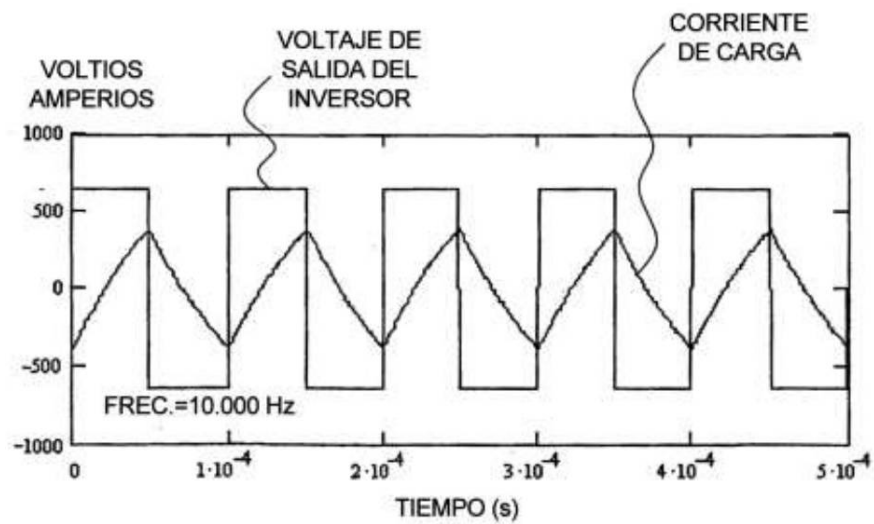


FIG. 5(b)

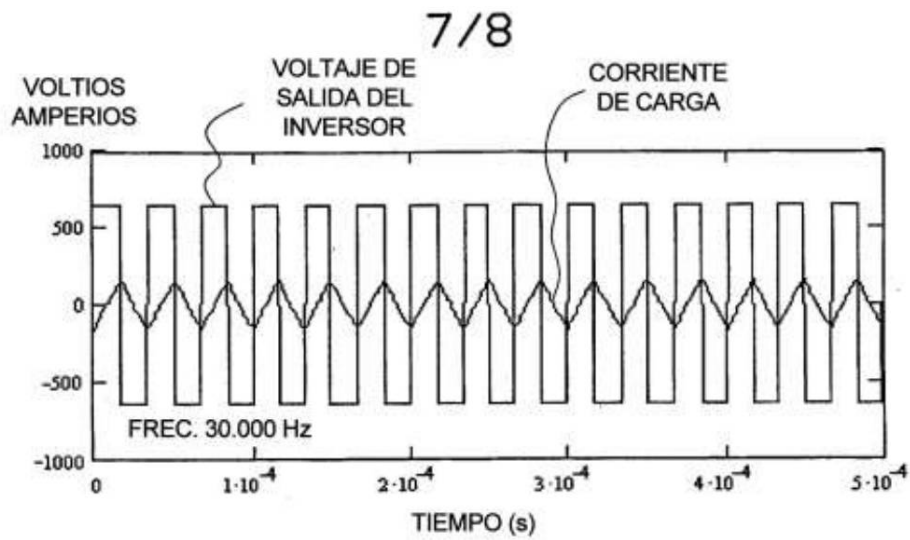


FIG. 5(c)

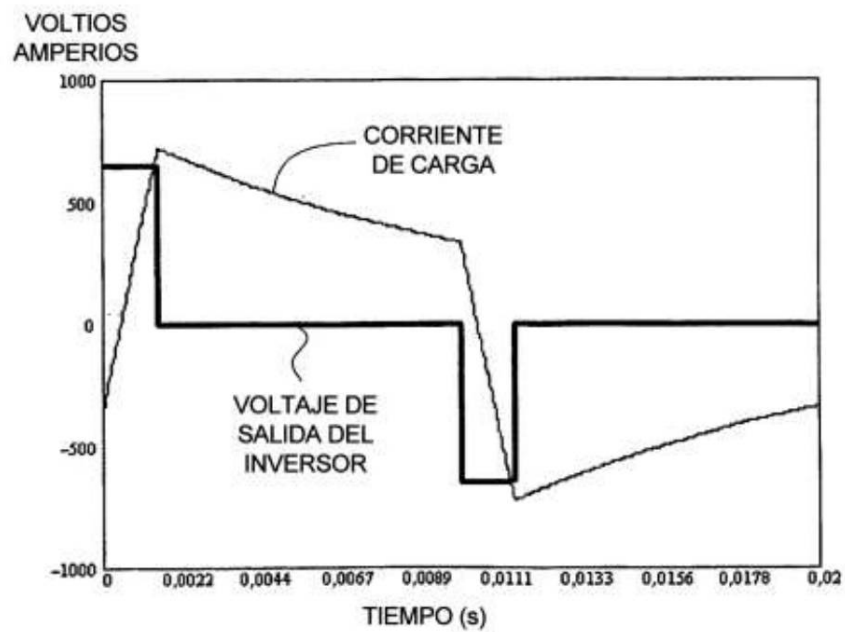
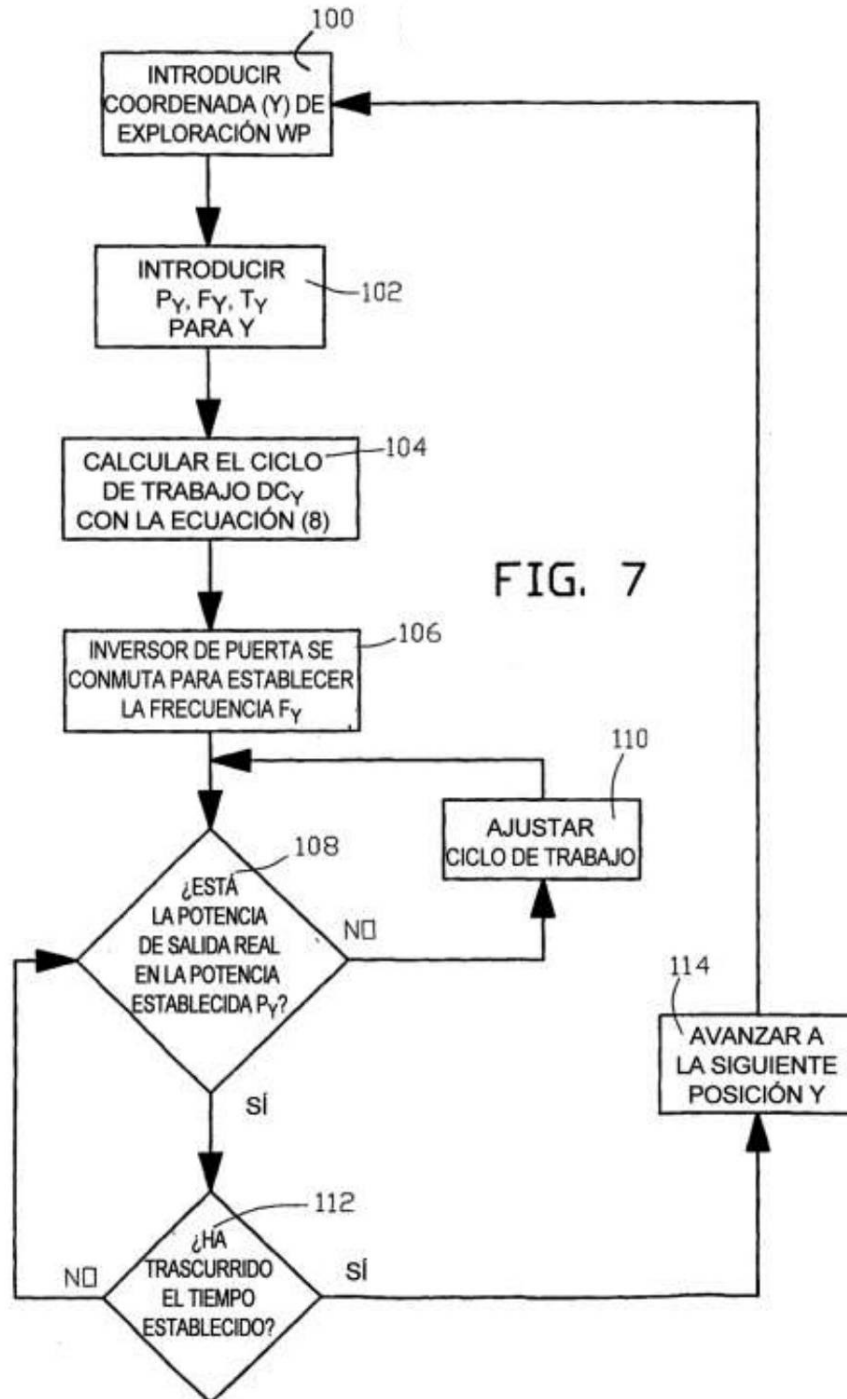


FIG. 6



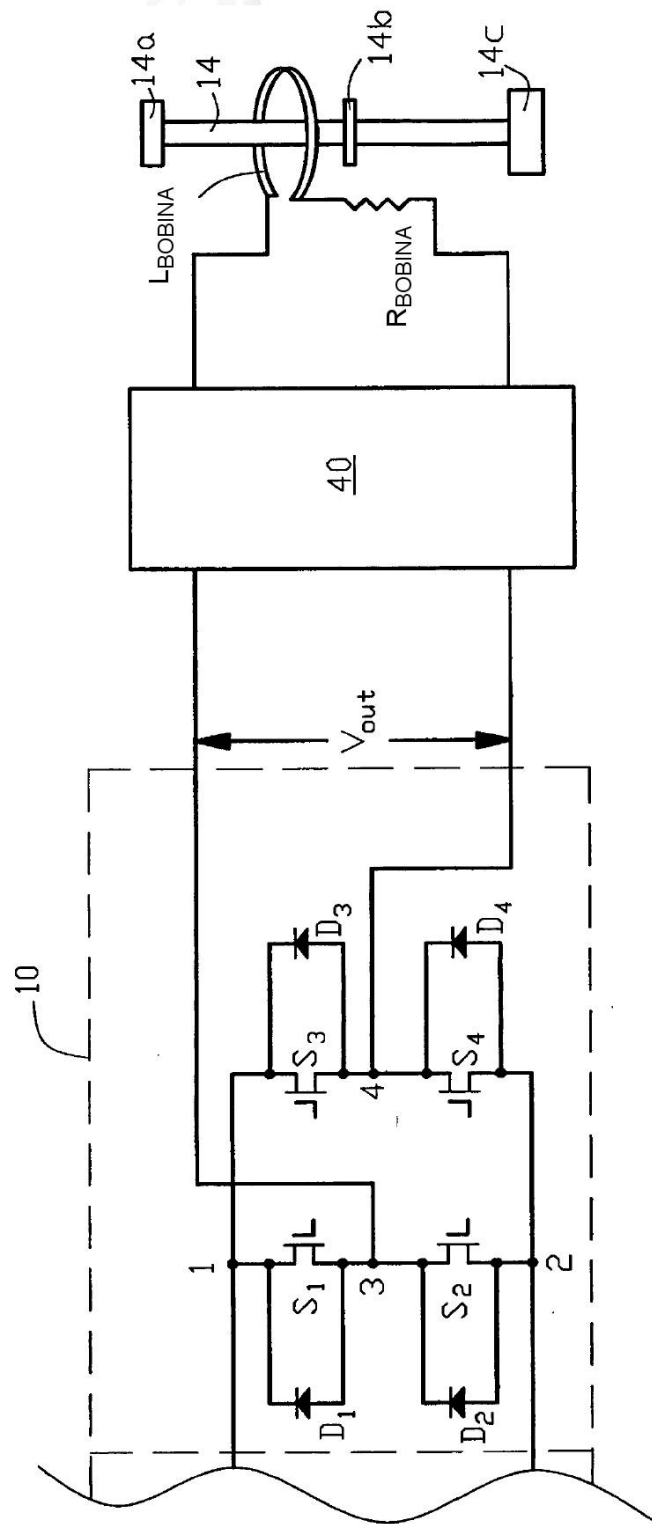


FIG. 8

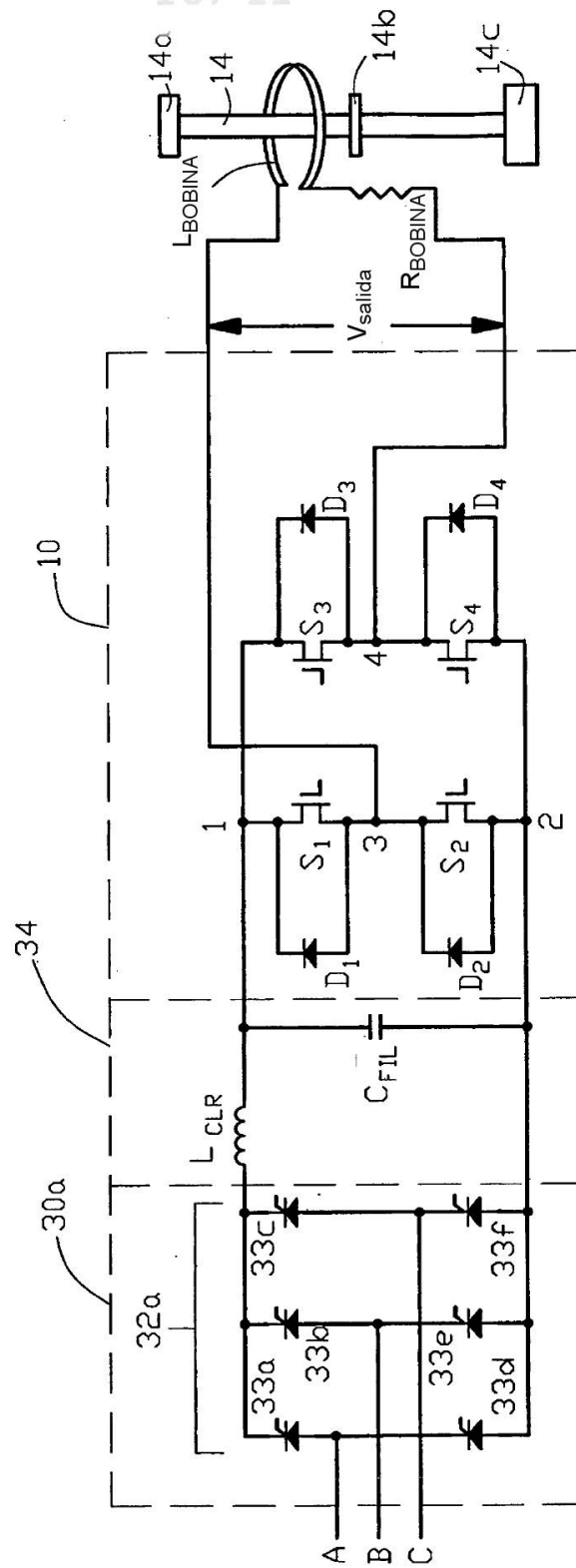


FIG. 9

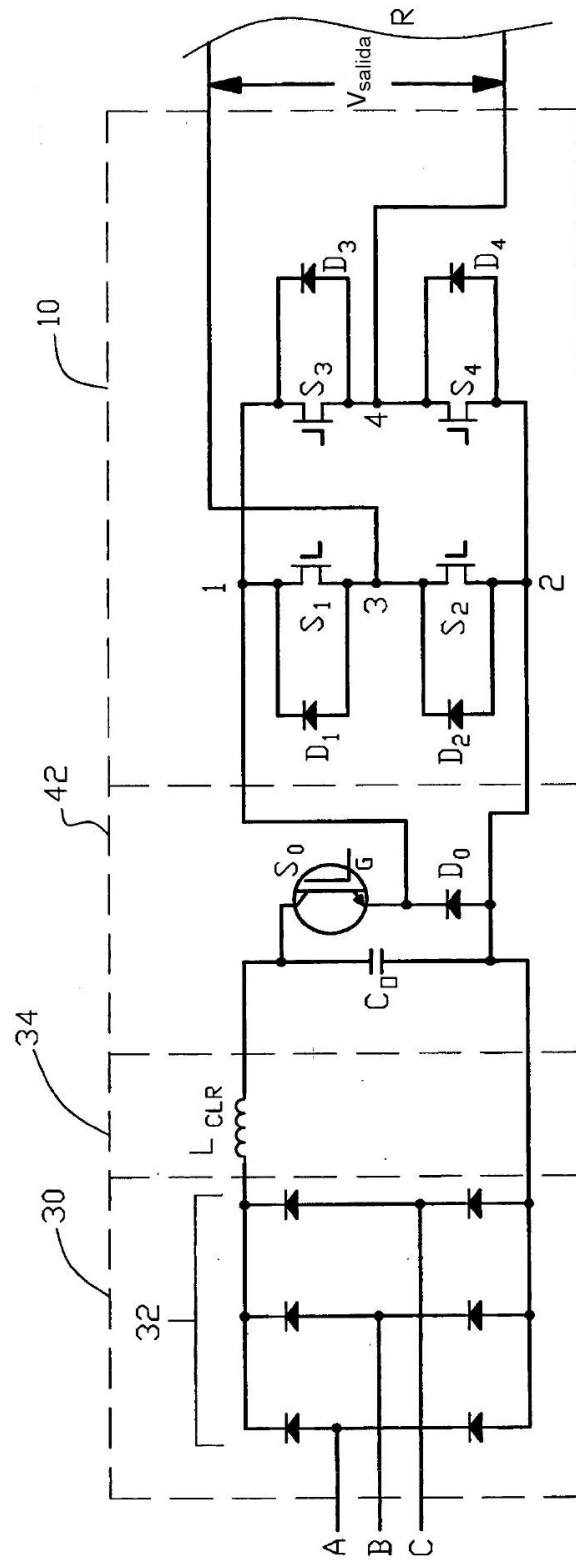


FIG. 10