



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 296 919**

(51) Int. Cl.:

H05B 6/30 (2006.01)

H05B 6/06 (2006.01)

H05B 6/04 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **02724952 .3**

(86) Fecha de presentación : **19.02.2002**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1374640**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **02.01.2004**

(54)

Título: **Calentamiento y agitación simultáneos por inducción de un metal fundido.**

(30)

Prioridad: **16.02.2001 US 269666 P**

(73)

Titular/es: **INDUCTOTHERM Corp.**
10 Indel Avenue, P.O. Box 157
Rancocas, New Jersey 08073-0157, US

(45)

Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.05.2008

(72)

Inventor/es: **Fishman, Oleg, S.;**
Mortimer, John, H. y
Nadot, Vladimir, N.

(45)

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.05.2008

(74)

Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 296 919 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

Calentamiento y agitación simultáneos por inducción de un metal fundido.

5 **Campo de la invención**

La presente invención está en el campo técnico de calentar y agitar inductivamente materiales fundidos eléctricamente conductivos, en el que el calentamiento y la agitación pueden ser efectuados simultáneamente.

10 **Antecedentes de la invención**

En la técnica es bien conocido fundir un material eléctricamente conductivo, tal como un metal, calentar el metal fundido (o colada) y mantener la colada a una temperatura colocando el metal en un horno de inducción o crisol de contención y acoplado magnéticamente el metal a un campo magnético de corriente alterna (c.a.). El campo es producido en una o más bobinas de inducción que rodean al crisol mediante la circulación de corriente eléctrica alterna (c.a.) desde una fuente de alimentación. Para mantener agitación electromagnética suficiente, la frecuencia eléctrica de la corriente es reducida cuando aumenta la capacidad del horno y aumenta la potencia (y la corriente) aplicada de inducción de c.a. Por ejemplo, un horno con una capacidad de colada de 16 toneladas de hierro tiene una frecuencia de alimentación óptima de 150 Hz aproximadamente, mientras que un horno con una capacidad de colada de 2,25 toneladas de acero tiene una frecuencia de alimentación ideal de 600 Hz aproximadamente.

También es bien conocido que una colada sometida a un campo magnético de c.a. se moverá cuando las corrientes parásitas (de Foucault) generadas en la colada por el campo aplicado producen un campo de flujo que se opone al campo magnético aplicado. Generalmente, los campos producidos por corrientes de frecuencias superiores producirán poca acción de agitación y los campos producidos por corrientes de frecuencias inferiores producirán movimientos preferidos de agitación electromagnética con corrientes de circulación de forma circular a través de la colada. Además, la turbulencia de la circulación aumentará cuando es aumentada la magnitud del campo aplicado (corriente suministrada).

Para algunas composiciones y aplicaciones de colada, la frecuencia preseleccionada de una sola fuente de alimentación de c.a. puede proporcionar tanto acciones de calentamiento como de agitación que son suficientes para el proceso. En otras aplicaciones, pueden ser usadas frecuencias distintas de calentamiento y agitación. Hay numerosos métodos de técnica anterior para aplicar energía de c.a. a una colada a dos frecuencias diferentes para conseguir las funciones de calentamiento y agitación. Métodos anteriores se concentraban en usar disposiciones de conmutación que aislaban alternativamente las fuentes de alimentación de calentamiento y agitación respecto a las secciones de bobinas de inducción. Las disposiciones de conmutación son desventajosas porque no permiten el calentamiento y la agitación simultáneos de la colada y necesitan componentes adicionales del sistema.

Métodos posteriores se concentraban en topologías de sistemas que aplicaban simultáneamente energía de calentamiento (que funciona a una frecuencia preseleccionada de calentamiento) y energía de agitación (que funciona a una frecuencia preseleccionada de agitación). Un problema técnico significativo a ser superado en estos sistemas es el aislamiento eléctrico adecuado entre las fuentes de alimentación en c.a. de calentamiento y agitación conectadas simultáneamente. El fallo en proporcionar este aislamiento cuando se usan fuentes electrónicas de alimentación de c.a. puede producir funcionamiento defectuoso o fallo de componentes en una fuente de alimentación que tiene su salida conectada a una segunda fuente de alimentación que funciona a una tensión y/o frecuencia de salida diferentes.

Una solución de este problema técnico es identificada en el documento US-A-5012487 titulado "Fusión por inducción" (la patente de EE.UU. n° 5.012.487). La Figura 1 es un esquema simplificado que representa las enseñanzas de técnica anterior de la patente n° 5.012.487. En la Figura 1, un transformador trifásico 126 apantallado electrostáticamente, que tiene devanados primarios 124 y devanados secundarios 128, es usado para suministrar energía de agitación a tres secciones 114a, 114b y 114c de bobina que forman una bobina de inducción para una vasija de fusión por inducción. La energía de agitación es suministrada desde una fuente de alimentación trifásica 120 de 50 Hz (energía de la red pública). El transformador también usa un devanado trifásico terciario 127 que alimenta a una disposición de corrección de factor de potencia, conectada en delta trifásica (no mostrada en el esquema simplificado). Condensadores 138a, 138b y 138c están conectados a las tres secciones de bobina como se muestra en la Figura 1. La salida monofásica de alta tensión de la fuente 136 de alimentación de calentamiento, que funciona en el intervalo de frecuencias de 150 Hz a 10 kHz, suministra energía de calentamiento a las secciones de bobina a través de los condensadores. Seleccionando la impedancia de los condensadores, de las secciones de bobina y del secundario del transformador de modo que el circuito en serie L-C resultante esté en resonancia para la frecuencia de funcionamiento de la fuente de alimentación de calentamiento, la energía de calentamiento es transferida desde la fuente de alimentación de calentamiento a las secciones de bobina. Se impide que la fuente de alimentación de agitación, a 50 Hz, que funciona a frecuencia fuera de resonancia, sea aplicada a los terminales de entrada de la fuente 136 de alimentación de calentamiento por el circuito de resonancia en serie sintonizado. Inversamente, la energía de calentamiento es bloqueada respecto a la fuente de alimentación de agitación puesto que los devanados secundarios del transformador 126 están efectivamente en paralelo a la frecuencia de funcionamiento de la fuente de alimentación de calentamiento.

Hay unas pocas desventajas en las disposiciones de circuitos descritas en la patente n° 5.012.487. El transformador 126 de alimentación es un componente caro con elementos cambiadores de tomas de tensión (no mostrados en el

esquema simplificado) y el devanado terciario como se describe adicionalmente en la patente nº 5.012.487. Además, la diferencia de frecuencias de funcionamiento entre la fuente de alimentación de calentamiento y la fuente de alimentación de agitación debe superar un cierto intervalo para que el circuito de resonancia en serie funcione eficazmente. Esto es particularmente problemático para vasijas de fusión por inducción de gran capacidad.

El documento US-A-1852215 describe en la Figura 4 un circuito para calentamiento y agitación combinados de un horno eléctrico, en el que dos condensadores son usados para bloquear la corriente de baja frecuencia respecto a la salida de una fuente de alta frecuencia, mientras que un circuito L-C sintonizado es usado en combinación con una fuente de baja frecuencia acoplada por transformador para bloquear la corriente de alta frecuencia respecto a la salida de una fuente de baja frecuencia. En la Figura 9, una fuente de alta frecuencia monofásica y una fuente de baja frecuencia monofásica acoplada por transformador están conectadas en paralelo con dos bobinas de horno.

Por tanto, existe la necesidad de un aparato y un método para calentar y agitar simultáneamente por inducción una colada desde dos fuentes de alimentación distintas, sin usar transformadores o conmutadores de aislamiento, en el que la frecuencia de la fuente de alimentación de agitación (y campo inducido de agitación) sea menor que la frecuencia de la fuente de alimentación de calentamiento (y campo inducido de calentamiento), particularmente cuando la frecuencia de la fuente de alimentación de calentamiento está próxima a la frecuencia de la fuente de alimentación de agitación.

SUMARIO BREVE DE LA INVENCION

La presente invención es definida en sus aspectos más amplios en las reivindicaciones 1 y 8, a las que debería hacerse referencia ahora. Las reivindicaciones 2 a 7, 9 y 10 definen características preferidas pero opcionales de la invención.

En un aspecto, la invención es un aparato y un método para calentamiento y agitación simultáneos por inducción de un material eléctricamente conductivo en una vasija que tiene al menos un conjunto de tres secciones de bobinas de inducción interconectadas dispuestas alrededor de la vasija. El calentamiento inductivo del material eléctricamente conductivo es efectuado aplicando energía de c.a. monofásica a través de la secciones de bobinas por vía de uno o más condensadores de sintonización y la agitación del material eléctricamente conductivo es efectuada aplicando energía de c.a. trifásica a las secciones de bobinas por vía de uno o más inductores. El circuito capacitivo de calentamiento y las secciones de bobinas funcionan en, o cerca de, un punto de resonancia y el circuito inductivo de agitación y las secciones de bobinas funcionan para bloquear la transferencia de energía entre las fuentes de alimentación de c.a. monofásica y trifásica.

Estos y otros aspectos de la invención son expuestos en la memoria descriptiva y las reivindicaciones.

Descripción breve de los dibujos

Las figuras, en conjunción con la memoria descriptiva y las reivindicaciones, ilustran uno o más modos no limitativos de poner en práctica la invención. La invención no está limitada a la distribución ilustrada ni al contenido de los dibujos.

La Figura 1 es un esquema simplificado de una disposición de técnica anterior para conseguir el calentamiento y la agitación simultáneos por inducción de una colada en una vasija de fusión por inducción.

La Figura 2 es un esquema simplificado monofilar de un ejemplo de una disposición para calentamiento y agitación simultáneos por inducción de un material fundido eléctricamente conductivo de acuerdo con la presente invención.

La Figura 3(a) es un esquema elemental de un ejemplo para calentamiento y agitación simultáneos por inducción de un material fundido eléctricamente conductivo de acuerdo con la presente invención que usa un convertidor en puente completo alimentado por tensión como la fuente de alimentación monofásica de calentamiento y un inversor trifásico de c.c. a c.a. como la fuente de alimentación trifásica de agitación en la que las secciones de bobinas de inducción dispuestas alrededor de la vasija están conectadas en una configuración en delta abierta con respecto a la fuente de alimentación trifásica de agitación.

La Figura 3(b) es un esquema elemental de otro ejemplo para calentamiento y agitación simultáneos por inducción de un material fundido eléctricamente conductivo el acuerdo con la presente invención que usa un convertidor en semipunto alimentado por tensión como la fuente de alimentación monofásica de calentamiento y un inversor trifásico de c.c. a c.a. como la fuente de alimentación trifásica de agitación en la que las secciones de bobinas de inducción dispuestas alrededor de la vasija están conectadas en una configuración en delta abierta con respecto a la fuente de alimentación trifásica de agitación.

La Figura 4 es una primera ilustración gráfica de la corriente de salida de una fuente de alimentación modulada en anchura de impulsos usada como una fuente de alimentación trifásica para agitación electromagnética en la presente invención.

La Figura 5 es una segunda ilustración gráfica de la corriente de salida de una fuente de alimentación modulada en anchura de impulsos usada como una fuente de alimentación trifásica para agitación electromagnética en la presente invención.

La Figura 6(a) es un esquema elemental de otro ejemplo para calentamiento y agitación simultáneos por inducción de un material fundido eléctricamente conductivo de acuerdo con la presente invención que usa un convertidor en puente completo alimentado por tensión como la fuente de alimentación monofásica de calentamiento y un inversor trifásico de c.c. a c.a. como la fuente de alimentación trifásica de agitación en las que las secciones de bobinas de inducción dispuestas alrededor de la vasija están conectadas en una configuración en estrella con respecto a la fuente de alimentación trifásica de agitación.

La Figura 6(b) es un esquema elemental de otro ejemplo para calentamiento y agitación simultáneos por inducción de un material fundido eléctricamente conductivo de acuerdo con la presente invención que usa un convertidor en semipunto alimentado por tensión como la fuente de alimentación monofásica de calentamiento y un inversor trifásico de c.c. a c.a. como la fuente de alimentación trifásica de agitación en la que las secciones de bobinas de inducción dispuestas alrededor de la vasija están conectadas en una configuración en estrella con respecto a la fuente de alimentación trifásica de agitación.

La Figura 7 ilustra esquemáticamente un método para usar transformadores para cambiar las características de salida de una fuente de alimentación monofásica de calentamiento o una fuente de alimentación trifásica de agitación usada en ejemplos de la invención.

Descripción detallada de la invención

En la Figura 2 se muestra un esquema monofilar simplificado de un ejemplo del aparato 10 de calentamiento y agitación simultáneos por inducción de la presente invención. La Fuente 12 de alimentación monofásica de calentamiento es cualquier tipo de fuente que proporcione energía de calentamiento por inducción a la bobina L1 de inducción. La bobina rodea a una vasija o crisol de calentamiento (no mostrado en el dibujo) que contiene un material fundido eléctricamente conductivo o colada. La energía de calentamiento por inducción puede ser usada para fundir material eléctricamente conductivo en la vasija, así como mantenerlo a una temperatura deseada una vez que el material ha sido fundido, y mientras material adicional es añadido a la colada. Por tanto, el término "calentamiento" como se usa en esto también comprende la energía de calentamiento por inducción para fundir material en la vasija. El intervalo de frecuencias preferido, pero no limitativo, para una fuente de alimentación que es usada para calentar el material eléctricamente conductivo es de 100 Hz a 100 kHz aproximadamente. C1 representa uno o más condensadores de sintonización que son usados para mejorar el factor de potencia del circuito en serie C1-L1. La fuente 16 de alimentación representa una fase de una fuente de alimentación trifásica de agitación. La fuente trifásica es cualquier tipo de fuente que puede suministrar energía electromagnética de agitación a la bobina L1 de inducción. Como se describe adicionalmente después, un intervalo adecuado, pero no limitativo, de frecuencias de salida para la fuente de alimentación de agitación está entre 1 Hz y 100 Hz aproximadamente.

Refiriéndose al ejemplo de la Figura 2, para una fuente 12 de alimentación de calentamiento, que funciona a una frecuencia f_h de 160 Hz, y una bobina L1 de inducción que tiene una inductancia (L_1) igual a 50×10^{-6} H, la capacidad (C_1) del condensador C1, que forma un circuito de resonancia en serie con la bobina L1, puede ser calculada por la ecuación:

$$C_1 = \frac{1}{\omega^2 L_1}$$

donde $\omega = 2\pi f_h$. La ecuación produce un valor de 20 mF aproximadamente para C_1 . Además, para resonancia a 160 Hz, la impedancia reactiva X_{L1} de la bobina L1 será 0,05 Ω aproximadamente (a partir de la ecuación $X_{L1} = \omega L_1$) y la impedancia reactiva X_{C1} del condensador C1 será 0,05 Ω aproximadamente (a partir de la ecuación $X_{C1} = 1/\omega C_1$). La resistencia de bobina es representada por el elemento resistivo R1. Un valor típico de resistencia R_{1h} de bobina de inducción, como se refleja en la carga de bobina L1, es el 10 por ciento aproximadamente de la impedancia reactiva de la bobina L1. Por tanto, R_{1h} es aproximadamente igual a 0,005 Ω . Para una magnitud de potencia de calentamiento igual a 5 MW (5×10^6 W), la corriente que el circuito de resonancia L1-C1 extraerá de la fuente 12 de alimentación de calentamiento es 31.500 A aproximadamente, como se calcula a partir de la ecuación:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R_{1h}}}$$

Para una fuente de alimentación de agitación que funciona a una frecuencia f_a de 2,5 Hz, la resistencia R_{1s} de la bobina L1 de inducción a 2,5 Hz puede ser calculada por la ecuación:

$$R_{1s} = R_{1h} \sqrt{\frac{f_a}{f_h}}$$

ES 2 296 919 T3

como 0,00062 Ω aproximadamente. A la frecuencia de agitación de 2,5 Hz, la impedancia reactiva de la bobina L1 será 0,00079 Ω aproximadamente y la impedancia reactiva de C1 será 3,2 Ω aproximadamente. La salida de la fuente 16 de alimentación de agitación es ajustada de modo que la bobina L1 de inducción extrae la mitad aproximadamente de la corriente de calentamiento. Para este ejemplo, la corriente I_s de agitación será 8.000 A aproximadamente. La potencia P_s de agitación puede ser calculada por la ecuación:

$$P_s = I_s^2 \cdot R_{L1}$$

como 40 kW o el 0,8% de la potencia de calentamiento. El inductor L2, en la línea de la fuente 16 de alimentación de agitación, es seleccionado para que tenga una impedancia relativamente grande con respecto a la impedancia de la bobina L1 de inducción. En este ejemplo, el inductor L2 es seleccionado de 4×10^{-3} H que es ochenta veces la inductancia de la bobina L1. A 160 Hz, la impedancia reactiva del inductor L2 puede ser calculada como 4,0 Ω aproximadamente. A 2,5 Hz, la impedancia reactiva del inductor L2 puede ser calculada como 0,006 Ω aproximadamente. La resistencia del inductor L2 es ignorada puesto que es de valor significativamente menor que la reactancia del inductor.

La tabla siguiente resume la impedancia aproximada de cada componente pasivo de circuito para el ejemplo presente

	Impedancia (Ω) a la frecuencia de calentamiento (160Hz)	Impedancia (Ω) a la frecuencia de agitación (2,5 Hz)
Condensador C1	0,05	3,2
Bobina L1	0,05	0,00079
Resistencia R1 de bobina	0,005	0,00062
Inductor L2	4,0	0,006

Como es ilustrado por los valores de impedancias en la tabla anterior para el circuito mostrado en la Figura 2, el circuito en serie C1-L1-R1 ofrece un trayecto de impedancia relativamente pequeña a la corriente de salida de la fuente 12 de alimentación de calentamiento. Inversamente, el inductor L2 impide eficazmente que la corriente procedente de la fuente 12 de alimentación de calentamiento circule a través de la fuente 16 de alimentación de agitación. El circuito en serie L2-L1-R1 ofrece un trayecto de impedancia relativamente pequeña a la corriente de salida de la fuente 16 de alimentación de agitación, mientras que el condensador C1 impide eficazmente que la corriente procedente de la fuente 16 de alimentación de agitación circule a través de la fuente 12 de alimentación de calentamiento.

La tabla siguiente resume las contribuciones de las fuentes de alimentación de calentamiento y agitación a la tensión entre terminales, la corriente a través y la potencia usada en la bobina L1:

	Contribución de la fuente de alimentación de calentamiento (160 Hz)	Contribución de la fuente de alimentación de agitación (2,5 Hz)
Corriente de bobina L1 (amperios)	31.500	8.000
Tensión de bobina L1 (voltios)	1.700	11
Potencia, bobina L1 (kW)	5.000	40

La tensión de bobina L1 es calculada a partir del producto de la magnitud de la corriente de bobina L1 por la magnitud de la impedancia de bobina L1 (reactiva y resistiva) para la fuente de alimentación apropiada.

Por consiguiente, la fuente 12 de alimentación de calentamiento suministra 31.500 A a la bobina L1 y 425A aproximadamente (determinados dividiendo la tensión de bobina L1 para la fuente 12 de alimentación de calentamiento por la impedancia del inductor L2 a la frecuencia de la fuente de calentamiento) a la entrada de la fuente 16 de alimentación de agitación. La fuente 16 de alimentación de agitación suministra 8.000 A a la bobina L1 y 3,4 A aproximadamente (determinados dividiendo la tensión de bobina L1 para la fuente 16 de alimentación de agitación por la impedancia del condensador C1 a la frecuencia de la fuente de agitación) a la entrada de la fuente 12 de alimentación de calentamiento. Los 425 A aproximadamente aplicados a la entrada de la fuente 16 de alimentación de agitación, que puede ser una fuente de alimentación modulada en anchura de impulsos, de estado sólido como se describe adicionalmente después, es considerado un nivel aceptable de corriente que no influirá en el comportamiento funcional de la fuente de alimentación de agitación. De modo similar, los 3,4 A aproximadamente aplicados a la entrada de la fuente 12 de alimentación de calentamiento, que puede ser una fuente de alimentación resonante en serie, de estado sólido como se describe adicionalmente después, es considerado un nivel aceptable de corriente que no influirá en el comportamiento funcional de la fuente de alimentación de calentamiento.

La Figura 3(a) ilustra otro ejemplo de calentamiento y agitación simultáneos por inducción de un material fundido eléctricamente conductivo de acuerdo con la presente invención en la que las tres secciones de bobinas de inducción 14a, 14b y 14c están interconectadas para formar una red de impedancias trifásica configurada en delta. Los terminales 1a y 4a de las secciones de bobinas 14a y 14c, respectivamente, no están conectados entre sí. Por tanto, la disposición de circuito de las secciones de bobinas de invención será denominada como una red de impedancias trifásicas en delta abierta. La Figura 3(a) ilustra un ejemplo no limitativo de cómo las tres secciones de bobinas pueden estar dispuestas alrededor de la vasija 11 que contiene el material eléctricamente conductivo. El condensador C12 es seleccionado para formar un circuito en serie con los segmentos de bobinas de inducción 14a, 14b y 14c que funciona en, o cerca de, resonancia cuando está conectado a la fuente de alimentación de calentamiento. En este ejemplo, la fuente de alimentación de c.a. monofásica de calentamiento es un convertidor 12a en puente completo, alimentado por tensión que utiliza una sección 21 rectificadora de c.a. a c.c. que tiene una entrada desde las líneas 20 de alimentación de c.a. trifásica. Los terminales de salida del convertidor en puente completo de fuente de alimentación son designados T11 y T12. El condensador C11 y el inductor L11 filtran la salida de energía de c.c. de la sección rectificadora. La energía de c.c. filtrada es invertida a energía de c.a. variable en la sección inversora 22 del convertidor. El condensador C12 está conectado entre el terminal 4a de delta abierta de la red de impedancias trifásica y un terminal T11 de salida de la fuente de alimentación de c.a. monofásica. El segundo terminal T12 de salida de la fuente de alimentación de c.a. monofásica está conectado al terminal 1a de delta abierta de la red de impedancia trifásica. En esta configuración, la corriente alterna que es suministrada desde la fuente de alimentación de c.a. monofásica de calentamiento, y circula a través de las secciones de bobinas, crea un campo magnético que se acopla magnéticamente con el material eléctricamente conductivo dentro de la vasija para calentar el material. La capacidad del condensador C12 es seleccionada para formar un circuito de resonancia en serie con las tres secciones de bobinas y proporcionar una impedancia relativamente grande a la salida de la fuente de alimentación trifásica de agitación que funciona a una frecuencia de fuente de agitación más baja que la frecuencia de la fuente de alimentación de calentamiento.

La fuente 16a de alimentación de agitación puede ser un inversor de c.c. a c.a. trifásico que utiliza topologías de conmutación de estado sólido, incluyendo transistores de potencia tal como un transistor bipolar de puerta aislada (IGBT: insulated gate bipolar transistor). Aunque un conjunto rectificador separado podría ser usado como una entrada a la fuente 16a de alimentación de agitación, en este ejemplo particular, el conjunto rectificador 21 también suministra entrada de c.c. al inversor de fuente de alimentación de agitación por medio de interconectar el bus positivo DC1 y el bus negativo DC2 de salida de c.c. Cada línea de salida (T31, T32 y T33) de la alimentación de inversor trifásico está conectada a un terminal extremo de los segmentos de bobinas 14a, 14b y 14c por vía de los inductores L2a, L2b y L2c, respectivamente. Los inductores L2a, L2b y L2c son inductores de potencia (típicamente, pero no limitado a, diseño de núcleo metálico) con la misma inductancia aproximadamente que es mucho mayor que la inductancia de una sección de bobina. En esta configuración, la corriente alterna que es suministrada desde la fuente de alimentación de c.a. trifásica de agitación y circula a través de las secciones de bobinas, crea un campo magnético que se acopla magnéticamente con el material eléctricamente conductivo dentro de la vasija para agitar electromagnéticamente el material. Las inductancias de los inductores L2a, L2b y L2c son seleccionadas para formar un círculo con las tres secciones de bobinas y proporcionar una impedancia relativamente grande a la salida de la fuente de alimentación monofásica de calentamiento que funciona a una frecuencia superior. La frecuencia de salida de la fuente 16a de alimentación de agitación será generalmente menor que la frecuencia de salida de la fuente de alimentación de calentamiento. La magnitud y la frecuencia de la salida de c.a. trifásica de la fuente 16a de alimentación de agitación pueden ser ajustadas electrónicamente controlando la temporización de puerta de los transistores de potencia con circuito conocido en la técnica. La frecuencia y la magnitud de la corriente de agitación extraída de la fuente 16a de alimentación de agitación pueden ser variadas para conseguir modelos de agitación diferentes mientras una colada es calentada simultáneamente. Generalmente, la frecuencia de la corriente de agitación afectará al modelo de agitación magnética y la magnitud de la corriente de agitación afectará a la intensidad de la acción agitadora. Como se ilustra en la Figura 4 y la Figura 5, si la fuente 16a de alimentación de agitación funciona como una fuente de alimentación modulada en anchura de impulsos, cambiar la anchura y la frecuencia de impulsos de los impulsos de corriente de alimentación de salida, como es ilustrado por las curvas 40a y 40b, producirá cambios de la magnitud y la frecuencia efectivas de la corriente de agitación de salida como es ilustrado por las curvas 42a y 42b.

La Figura 3(b) ilustra otro ejemplo de calentamiento y agitación simultáneos por inducción de un material fundido eléctricamente conductivo de acuerdo con la presente invención. En este ejemplo, la fuente de alimentación de c.a. monofásica de calentamiento es un convertidor 12b en semipunto alimentado por tensión con la sección inversora 22a en semipunto. Los condensadores C12a y C12b, que tienen aproximadamente la misma capacidad, sustituyen al condensador C12 en la Figura 3(a). Los condensadores están conectados en serie a través de los buses de c.c. positiva y negativa DC1 y DC2, respectivamente, de la fuente de alimentación de calentamiento. En esta configuración, los terminales de salida de la fuente de alimentación de calentamiento son designados como terminales T11a y T12a, con el terminal T11a en el centro del circuito en semipunto, y el terminal T12a en la conexión común entre los condensadores C12a y C12b. El terminal 4b de delta abierta está conectado al terminal T11a y el terminal 1b de delta abierta está conectado al terminal T12a y el terminal 1b de delta abierta está conectado al terminal T12a. Por lo demás, este ejemplo de la invención es similar al ejemplo anterior ilustrado en la Figura 3(a).

La Figura 6(a) ilustra otro ejemplo de calentamiento y agitación simultáneos por inducción de un material fundido eléctricamente conductivo de acuerdo con la presente invención. Este ejemplo varía del ejemplo ilustrado en la Figura 3(a) en que las tres secciones de bobinas de inducción 14a, 14b y 14c están interconectadas en una red de impedancias trifásicas en estrella más bien que una red de impedancias trifásicas en estrella más bien que en una red de impedancias trifásicas en delta abierta. La Figura 6(a) ilustra un ejemplo no limitativo de cómo las tres secciones de bobinas pueden estar dispuestas alrededor de la vasija 11 que contiene los materiales eléctricamente conductivos. La red de impedancias trifásicas en estrella tiene los terminales 1c, 2c y 3c de bobinas de fases y el terminal común 4c de bobinas para todas las secciones de bobinas de inducción. Los condensadores C12c, C12d y C12e tienen sus primeros terminales conectados a los terminales 1c, 2c y 3c de bobinas, respectivamente. Los segundos terminales de todos estos condensadores están conectados de modo común al terminal T11 de salida de la fuente 12a de alimentación de c.a. monofásica. El segundo terminal T12 de salida, de la fuente de alimentación de c.a. monofásica, está conectado al terminal común 4c de bobinas. Cada una de las líneas de salida T31, T32 y T33, de la fuente de alimentación de inversor trifásico, está conectada a los terminales 1c, 2c y 3c de bobinas, respectivamente, de los segmentos de bobinas 14a, 14b y 14c por vía de los inductores L2a, L2b y L2c, respectivamente. Por lo demás, este ejemplo de la invención es similar que el ejemplo anterior ilustrado en la Figura 3(a).

La Figura 7 ilustra un método para proporcionar una elevación o reducción de tensión de la salida de la fuente de alimentación de c.a. monofásica en la Figura 6(a) disponiendo un autotransformador 40 entre los terminales T11 y T12 de salida de la fuente de alimentación. El autotransformador también puede ser sustituido por un transformador convencional de cuatro terminales. La elevación o reducción adicional de la salida de la fuente de alimentación de c.a. trifásica en la Figura 6(b) puede ser efectuada usando elementos T2a, T2b y T2c de transformador para sustituir a los inductores L2a, L2b y L2c, respectivamente, en la Figura 6(a). Estas transformaciones de tensión también pueden ser proporcionadas en otros ejemplos de la invención con modificaciones apropiadas.

La Figura 6(b) ilustra otro ejemplo de calentamiento y agitación simultáneos por inducción de un material fundido eléctricamente conductivo de acuerdo con la presente invención. Este ejemplo varía respecto al ejemplo ilustrado en la Figura 3(b) en que las tres secciones de bobinas de inducción 14a, 14b y 14c están interconectadas en una red de impedancias trifásicas en estrella más bien que una red de impedancias trifásicas en delta abierta. Los condensadores C12f, C12g y C12h tienen sus primeros terminales conectados a los terminales 1c, 2c y 3c de bobinas, respectivamente. Los segundos terminales de todos estos condensadores están conectados de modo común al terminal T12a de salida de la fuente 12a de alimentación de c.a. monofásica. Por lo demás, este ejemplo de la invención es similar que el ejemplo anterior ilustrado en la Figura 6(a).

Como es ilustrado por los ejemplos anteriores, la presente invención está dirigida a una fuente de alimentación de c.a. monofásica de calentamiento conectada a la red de impedancias de bobinas de inducción de vasija por uno o más elementos capacitivos para formar un circuito de calentamiento inductivo. Los componentes en el circuito de calentamiento inductivo son seleccionados de modo que el circuito está en, o cerca de, resonancia cuando es excitado por la fuente de alimentación de calentamiento que funciona a una frecuencia de calentamiento inductivo. La fuente de alimentación de c.a. trifásica de agitación está conectada a la red de impedancias de bobinas de inducción de la vasija por elementos inductivos para formar un circuito de agitación inductivo. Además, los elementos inductivos y los elementos capacitivos son seleccionados para proporcionar impedancia suficiente para bloquear la potencia de salida desde la fuente de alimentación de calentamiento a la fuente de alimentación de agitación, y la potencia de salida desde la fuente de alimentación de agitación a la fuente de alimentación de calentamiento, respectivamente. Generalmente, la frecuencia de agitación inductiva es menor que la frecuencia de calentamiento inductivo. Además, la frecuencia de agitación puede ser variada en un intervalo para proporcionar un modelo variado de agitación electromagnética.

Otros tipos de fuentes de alimentación monofásicas y fuentes de alimentación trifásicas pueden ser usados como fuentes de alimentación de calentamiento y agitación, respectivamente, para la invención descrita. Otras configuraciones de bobinas de inducción trifásicas pueden ser utilizadas sin desviarse del alcance de la invención. Por ejemplo, las secciones de bobinas pueden ser dispuestas físicamente alrededor de la vasija de calentamiento para conseguir una variación particular de calentamiento y/o agitación a lo largo de la altura del material fundido dentro de la vasija. Además, configuraciones de bobinas de inducción trifásicas múltiples pueden ser provistas de conexiones con fuentes de alimentación comunes (en paralelo) de calentamiento y/o agitación, o fuentes de alimentación individuales de calentamiento y/o agitación para cada una de las bobinas de inducción trifásicas múltiples.

ES 2 296 919 T3

Los ejemplos de la invención incluyen referencia a componentes eléctricos específicos. Un experto en la técnica puede poner en práctica la invención sustituyendo por componentes que no son necesariamente del mismo tipo pero crearán las condiciones deseadas o conseguirán los resultados deseados de la invención. Por ejemplo, componentes únicos pueden ser sustituidos por componentes múltiples o viceversa.

5

Las realizaciones anteriores no limitan el alcance de la invención descrita. El alcance de la invención descrita es expuesto además en las reivindicaciones adjuntas.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (10) para calentar y agitar por inducción magnética un material eléctricamente conductivo en una vasija (11), comprendiendo el aparato una pluralidad de bobinas de inducción (L1; 14a, 14b, 14c) dispuestas alrededor de la vasija, estando la pluralidad de bobinas de inducción conectadas entre sí para formar al menos una red de impedancias trifásica,

una fuente (12; 12a, 12b) de alimentación de c.a. monofásica que tiene una salida que funciona a una frecuencia de calentamiento inductivo,

una fuente (16; 16a) de alimentación de c.a. trifásica que tiene una salida que funciona a una frecuencia de agitación inductiva, siendo la frecuencia de agitación inductiva menor que la frecuencia de calentamiento inductivo, **caracterizado** porque

al menos un elemento capacitivo (C1; C12; C12a, C12b, C12c, C12d, C12e; C12f, C12g, C12h) conecta la salida de la fuente de alimentación de c.a. monofásica con la pluralidad de bobinas de inducción para formar un circuito de calentamiento que funciona a, o cerca de, la frecuencia de resonancia para suministrar una corriente alterna de calentamiento a la pluralidad de bobinas de inducción, creando la corriente alterna de calentamiento en uso un campo magnético de calentamiento, siendo el campo magnético de calentamiento acoplado inductivamente en uso con el material eléctricamente conductivo para calentar el material eléctricamente conductivo; y

al menos un elemento inductivo (L2; L2a, L2b, L2c) conecta la salida de la fuente de alimentación de c.a. trifásica a la pluralidad de bobinas de inducción para formar un circuito de agitación para suministrar una corriente alterna de agitación a la pluralidad de bobinas de inducción, creando la corriente alterna de agitación en uso un campo magnético de agitación, siendo el campo magnético de agitación acoplado inductivamente en uso con el material eléctricamente conductivo para agitar el material eléctricamente conductivo simultáneamente con dicho calentamiento del mismo;

mediante lo cual el al menos un elemento inductivo bloquea sustancialmente la salida de la fuente de alimentación de c.a. trifásica respecto a la salida de la fuente de alimentación de c.a. monofásica y el al menos un elemento capacitivo bloquea la salida de la fuente de alimentación de c.a. monofásica respecto a la salida de la fuente de alimentación c.a. trifásica.

2. Un aparato según la reivindicación 1, en el que:

al menos una red de impedancias trifásica comprende un circuito en delta abierta (14a, 14b, 14c) que tiene terminales primero y segundo (1a, 4a) de delta abierta y terminales primero y segundo (2a, 3a) de delta cerrada;

al menos un elemento capacitivo comprende un condensador (C12) de circuito de calentamiento que tiene un primer terminal de condensador y un segundo terminal de condensador, estando el primer terminal de condensador conectado al primer terminal (4a) de delta abierta;

la salida de la fuente de alimentación de c.a. monofásica comprende terminales primero y segundo (T11, T12) de salida de alimentación de calentamiento, estando el primer terminal (T11) de salida de alimentación de calentamiento conectado al segundo terminal de condensador, y estando el segundo terminal (T12) de salida de alimentación de calentamiento conectado al segundo terminal (1a) de delta abierta;

al menos un elemento inductivo comprende una pluralidad de inductores (L2a, L2b, L2c) de circuito de agitación, teniendo cada uno de la pluralidad de inductores de circuito de agitación un primer terminal de inductor y un segundo terminal de inductor, estando el primer terminal de inductor de cada uno de la pluralidad de inductores de circuito de agitación conectado exclusivamente al primer terminal (2a) de delta cerrada, al segundo terminal (3a) de delta cerrada y al segundo terminal (1a) de delta abierta de la al menos una red de impedancias trifásica; y

la salida de la fuente de alimentación de c.a. trifásica comprende tres terminales (T31, T32, T33) de salida de alimentación de agitación, estando cada uno de los tres terminales de salida de alimentación de agitación conectado exclusivamente al segundo terminal de inductor de cada uno de la pluralidad de inductores de circuito de agitación.

3. Un aparato según la reivindicación 1, en el que:

al menos una red de impedancias trifásica comprende un circuito (14a, 14b, 14c) en delta abierta que tiene terminales primero y segundo (1a, 4a) de delta abierta y terminales primero y segundo (2a, 3a) de delta cerrada;

al menos un elemento capacitivo comprende un primer condensador (C12a) de circuito de calentamiento y un segundo condensador (C12b) de circuito de calentamiento, teniendo los condensadores primero y segundo de circuito de calentamiento la misma capacidad aproximadamente, teniendo cada uno de los condensadores primero y segundo de circuito de calentamiento terminales primero y segundo, estando los segundos terminales de los condensadores primero y segundo de circuito de calentamiento conectados entre sí (T12a) para formar una conexión común de condensadores;

la fuente de alimentación de c.a. monofásica tiene un bus (DC1) de c.c. positiva y un bus (DC2) de c.c. negativa;

la salida de la fuente de alimentación de c.a. monofásica comprende terminales primero y segundo (T11a, T12a) de salida de alimentación de calentamiento, comprendiendo el primer terminal (T11a) de salida de alimentación de calentamiento el centro de un circuito en semipunto de la fuente de alimentación de c.a. monofásica, estando el primer terminal (T11a) de salida de alimentación de calentamiento conectado al segundo terminal (4b) de delta abierta, estando el bus (DC1) de c.c. positiva conectado al primer terminal del primer condensador (C12a) de circuito de calentamiento y estando el bus (DC2) de c.c. negativa conectado al primer terminal del segundo condensador (C12b) de circuito de calentamiento, comprendiendo el segundo terminal (T12a) de salida de alimentación de calentamiento la conexión común de condensadores, estando el segundo terminal (T12a) de salida de alimentación de calentamiento conectado al primer terminal (1b) de delta abierta;

al menos un elemento inductivo comprende una pluralidad de inductores (L2a, L2b, L2c) de circuito de agitación, teniendo cada uno de la pluralidad de inductores de circuito de agitación un primer terminal de inductor y un segundo terminal de inductor, estando el primer terminal de inductor de cada uno de la pluralidad de inductores de circuito de agitación conectado exclusivamente al primer terminal (2b) de delta cerrada, al segundo terminal (3b) de delta cerrada y al segundo terminal (1b) de delta abierta de la al menos una red de impedancias trifásica; y

la salida de la fuente de alimentación de c.a. trifásica comprende tres terminales (T31, T32, T33) de salida de alimentación de agitación, estando cada uno de los tres terminales de salida de alimentación de agitación conectado exclusivamente al segundo terminal de inductor de cada uno de la pluralidad de inductores (L2a, L2b, L2c) de circuito de agitación.

4. Un aparato según la reivindicación 1, en el que:

al menos una red de impedancias trifásica comprende un circuito en estrella (14a, 14b, 14c) que tiene un terminal común para todas de la pluralidad de bobinas de inducción, y terminales primero, segundo y tercero;

al menos un elemento capacitivo comprende una pluralidad de condensadores (C12f, C12g, C12h) de circuito de calentamiento, teniendo cada uno de la pluralidad de condensadores de circuito de calentamiento un primer terminal de condensador y un segundo terminal de condensador, estando el primer terminal de condensador de cada uno de la pluralidad de condensadores de circuito de calentamiento conectado exclusivamente a los terminales primero (1c), segundo (2c) y tercero (3c) de la al menos una red de impedancias trifásica;

la salida de la fuente de alimentación de c.a. monofásica comprende terminales primero y segundo (T12a, T11b) de salida de alimentación de calentamiento, estando el primer terminal (T12a) de salida de alimentación de calentamiento conectado al segundo terminal de condensador de todos de la pluralidad de condensadores de circuito de calentamiento, y estando el segundo terminal (T11b) de salida de alimentación de calentamiento conectado al terminal común (4c) de la al menos una red de impedancias trifásica;

al menos un elemento inductivo comprende una pluralidad de inductores (L2a, L2b, L2c) de circuito de agitación, teniendo cada uno de la pluralidad de inductores de circuito de agitación un primer terminal de inductor y un segundo terminal de inductor, estando el primer terminal de inductor de cada uno de la pluralidad de inductores de circuito de agitación conectado exclusivamente a los terminales primero (1c), segundo (2c) y tercero (3c) de la red de impedancias trifásica; y

la salida de la fuente de alimentación de c.a. trifásica comprende tres terminales (T31, T32, T33) de salida de alimentación de agitación, estando cada uno de los tres terminales de salida de alimentación de agitación conectado exclusivamente al segundo terminal de inductor de cada uno de la pluralidad de inductores de circuito de agitación.

5. Un aparato según la reivindicación 1, en el que:

al menos una red de impedancias trifásica comprende un circuito en estrella (14a, 14b, 14c) que tiene un terminal común (4c) para todas de la pluralidad de bobinas de inducción, y terminales primero (1c), segundo (2c) y tercero (3c);

al menos un elemento capacitivo comprende una pluralidad de condensadores (C12f, C12g, C12h) de circuito de calentamiento, teniendo cada uno de la pluralidad de condensadores de circuito de calentamiento un primer terminal de condensador y un segundo terminal de condensador, estando el primer terminal de condensador de cada uno de la pluralidad de condensadores de circuito de calentamiento conectado exclusivamente a los terminales primero (1c), segundo (2c) y tercero (3c) de la red de impedancias trifásica;

la salida de la fuente de alimentación de c.a. monofásica comprende terminales primero y segundo (T12a, T11b) de salida de alimentación de calentamiento, estando el primer terminal (T12a) de salida de alimentación de calentamiento conectado al segundo terminal de condensador de todos de la pluralidad de condensadores de circuito de calentamiento, y estando el segundo terminal (T11b) de salida de alimentación de calentamiento al terminal común (4c) de la red de impedancias trifásica;

ES 2 296 919 T3

al menos un elemento inductivo comprende una pluralidad de inductores (L2a, L2b, L2c) de circuito de agitación, teniendo cada uno de la pluralidad de inductores de circuito de agitación un primer terminal de inductor y un segundo terminal de inductor, estando el primer terminal de inductor de cada uno de la pluralidad de inductores de circuito de agitación conectado exclusivamente a los terminales primero (1c), segundo (2c) y tercero (3c) de la red de impedancias trifásica; y

la salida de la fuente de alimentación de c.a. trifásica comprende tres terminales (T31, T32, T33) de salida de alimentación de agitación, estando cada uno de los tres terminales de salida de alimentación de agitación conectado exclusivamente al segundo terminal de inductor de uno de la pluralidad de inductores de circuito de agitación.

6. Un aparato según cualquier reivindicación precedente, en el que la frecuencia de agitación es variable en un intervalo de frecuencias.

7. Un aparato según cualquier reivindicación precedente, en el que la fuente de alimentación trifásica es una fuente de alimentación modulada en anchura de impulsos que tiene una frecuencia de salida variable.

8. Un método para calentar y agitar por inducción magnética un material eléctricamente conductivo en una vasija (11) que tiene una pluralidad de bobinas de inducción (L1; 14a, 14b, 14c) dispuestas alrededor de la vasija, estando la pluralidad de bobinas de inducción conectadas entre sí para formar al menos una red de impedancias trifásica;

una fuente (12; 12a, 12b) de alimentación de c.a. monofásica que tiene una salida que funciona a una frecuencia de calentamiento inductivo; y

una fuente (16; 16a) de alimentación de c.a. trifásica que tiene una salida que funciona a una frecuencia de agitación inductiva, siendo la frecuencia de agitación inductiva menor que la frecuencia de calentamiento inductivo; estando el método **caracterizado** por:

conectar la salida de la fuente de alimentación de c.a. monofásica a la pluralidad de bobinas de inducción por al menos un elemento capacitivo (C1; C12; C12a, C12b, C12c, C12d, C12e; C12f, C12g, C12h) para formar un circuito de calentamiento que funciona a, o cerca de, la frecuencia de resonancia para suministrar una corriente alterna de calentamiento a la pluralidad de bobinas de inducción, creando la corriente alterna de calentamiento un campo magnético de calentamiento, siendo el campo magnético de calentamiento acoplado inductivamente con el material eléctricamente conductivo para calentar el material eléctricamente conductivo; y

conectar la salida de la fuente de alimentación de c.a. trifásica a la pluralidad de bobinas de inducción por al menos un elemento inductivo (L2; L2a, L2b, L2c) para formar un circuito de agitación para suministrar una corriente alterna de agitación a la pluralidad de bobinas de inducción; creando la corriente alterna de agitación un campo magnético de agitación, siendo el campo magnético de agitación acoplado inductivamente con el material eléctricamente conductivo para agitar el material eléctricamente conductivo simultáneamente con dicho calentamiento del mismo;

mediante lo cual el al menos un elemento inductivo bloquea sustancialmente la salida de la fuente de alimentación trifásica respecto a la salida de la fuente de alimentación de c.a. monofásica y el al menos un elemento capacitivo bloquea la salida de la fuente de alimentación monofásica respecto a la salida de la fuente de alimentación trifásica.

9. Un método según la reivindicación 8, que incluye el paso de variar la frecuencia de la salida de la fuente de alimentación de c.a. trifásica.

10. Un método según la reivindicación 8, en el que la fuente de alimentación de c.a. trifásica es una fuente de alimentación modulada en anchura de impulsos que tiene una salida de frecuencia variable.

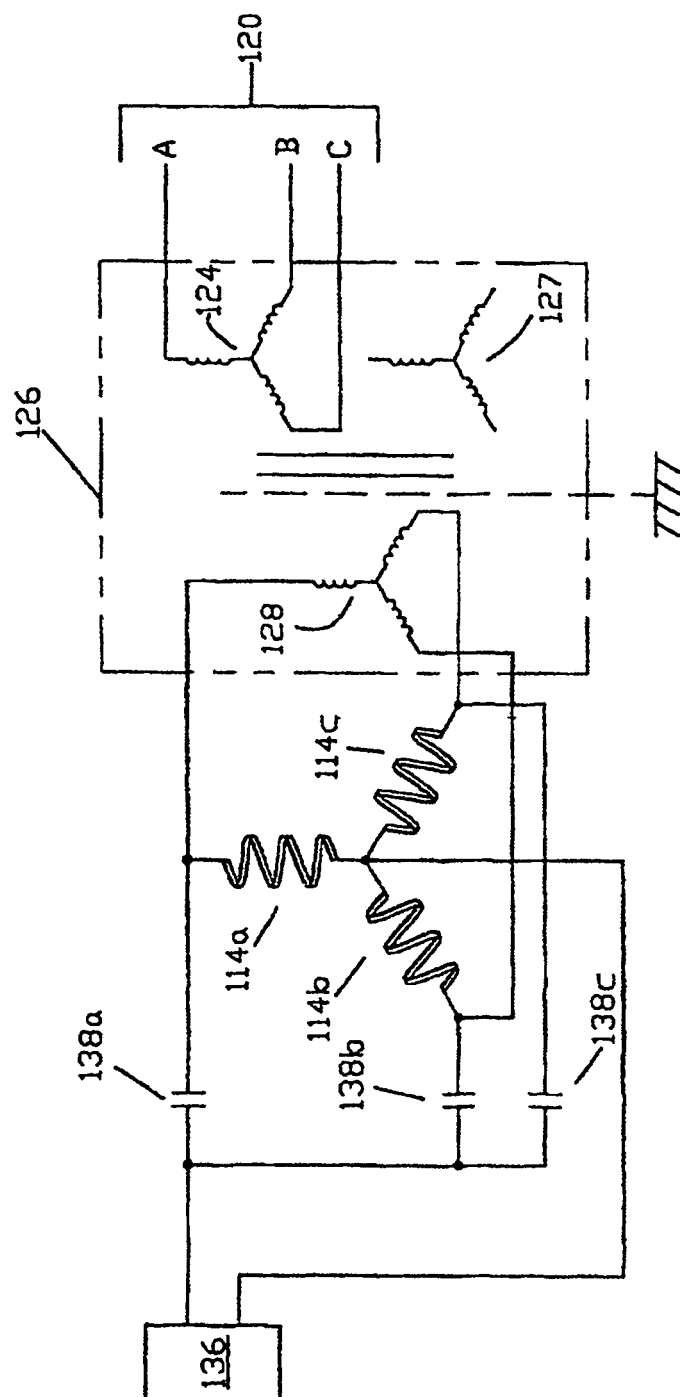


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR

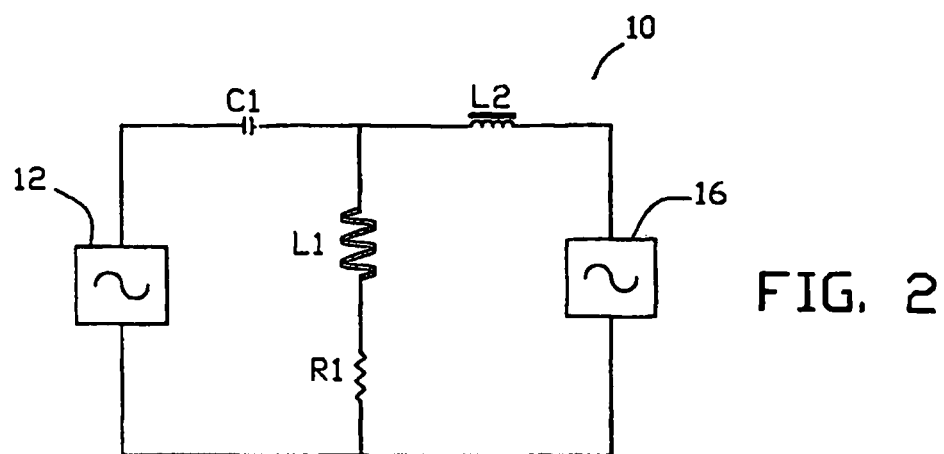


FIG. 2

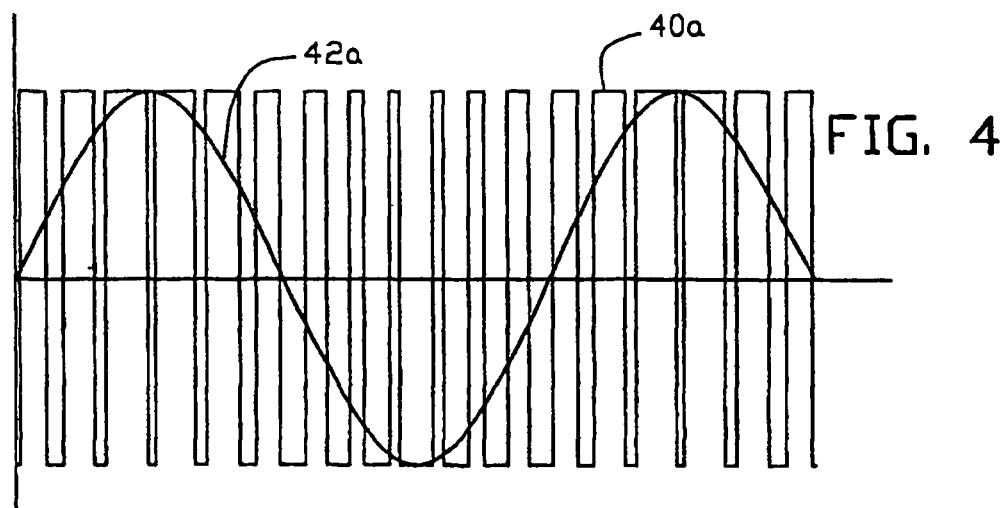


FIG. 4

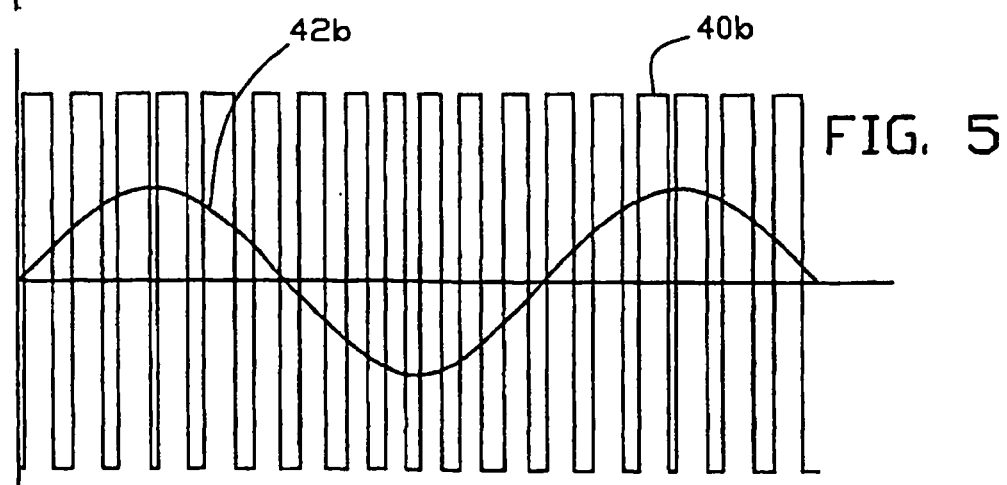
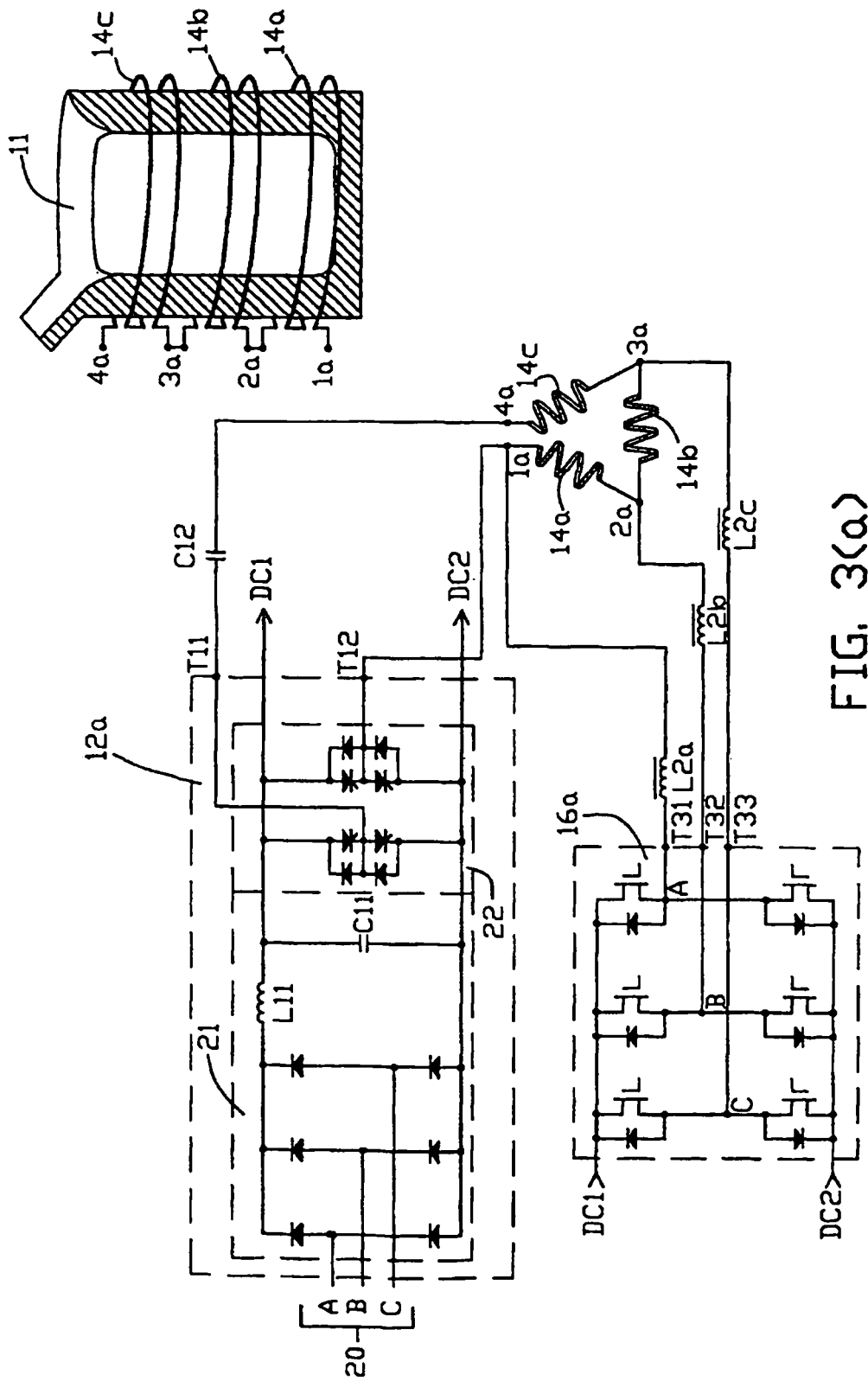


FIG. 5



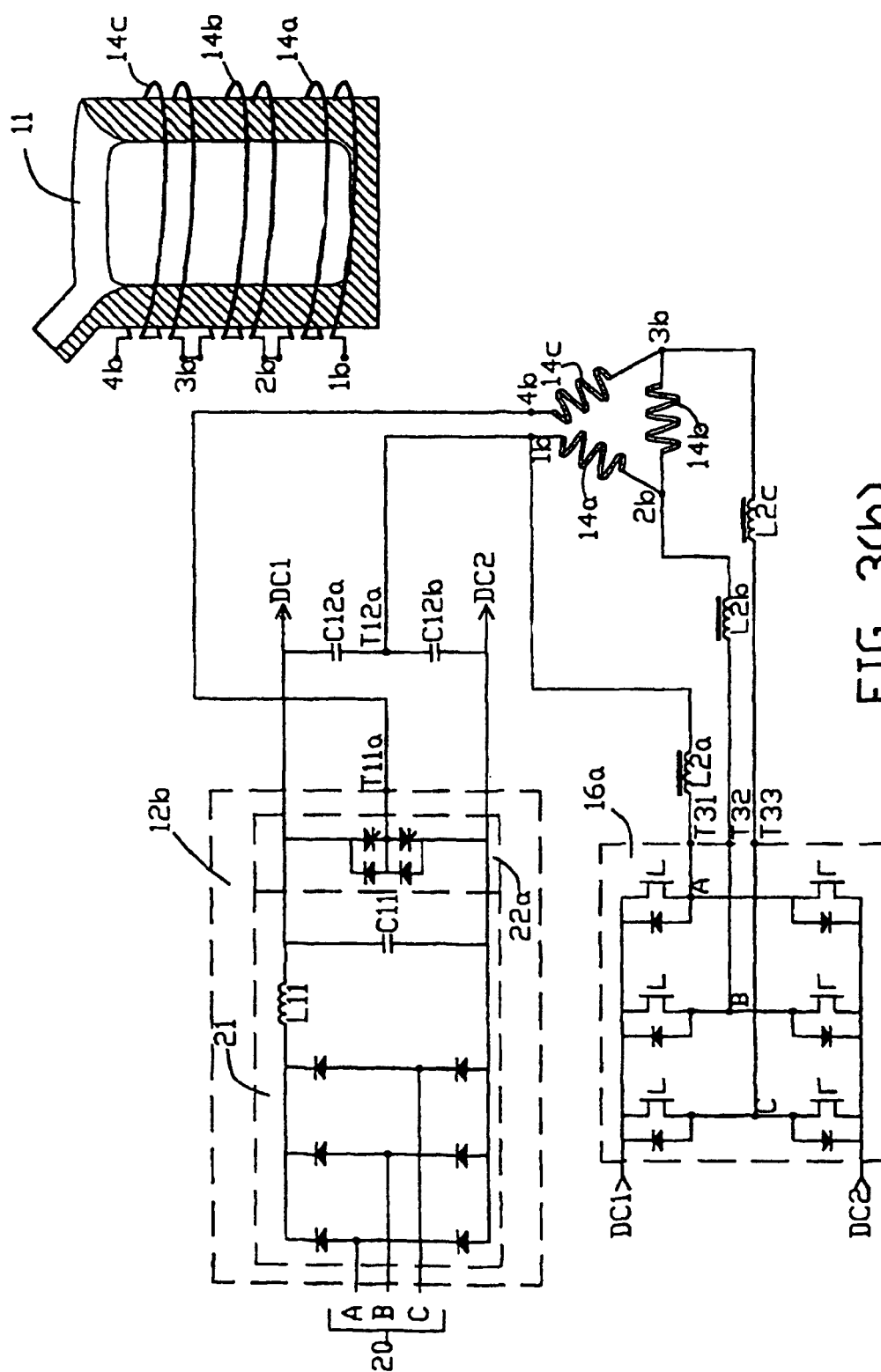
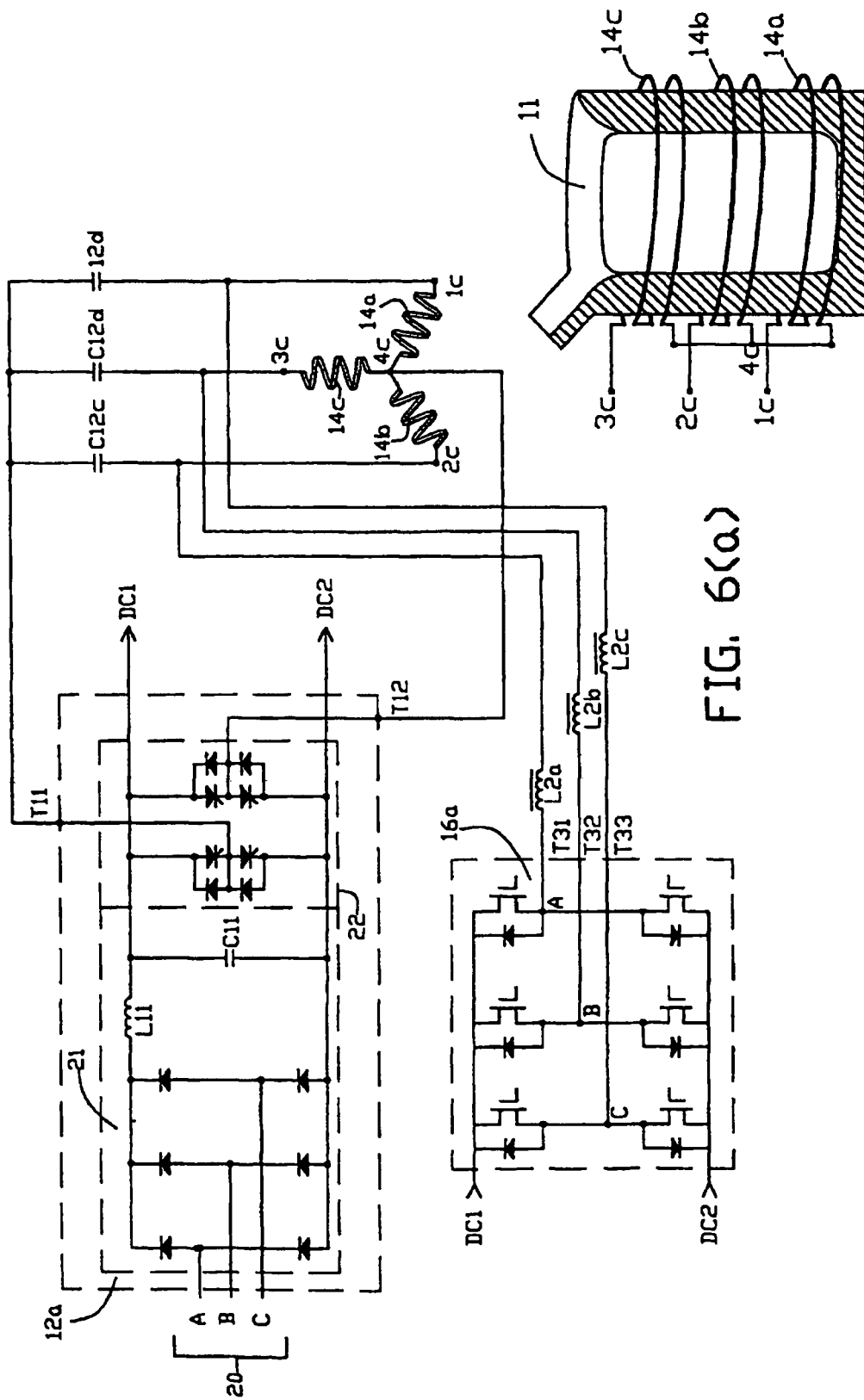


FIG. 3(b)



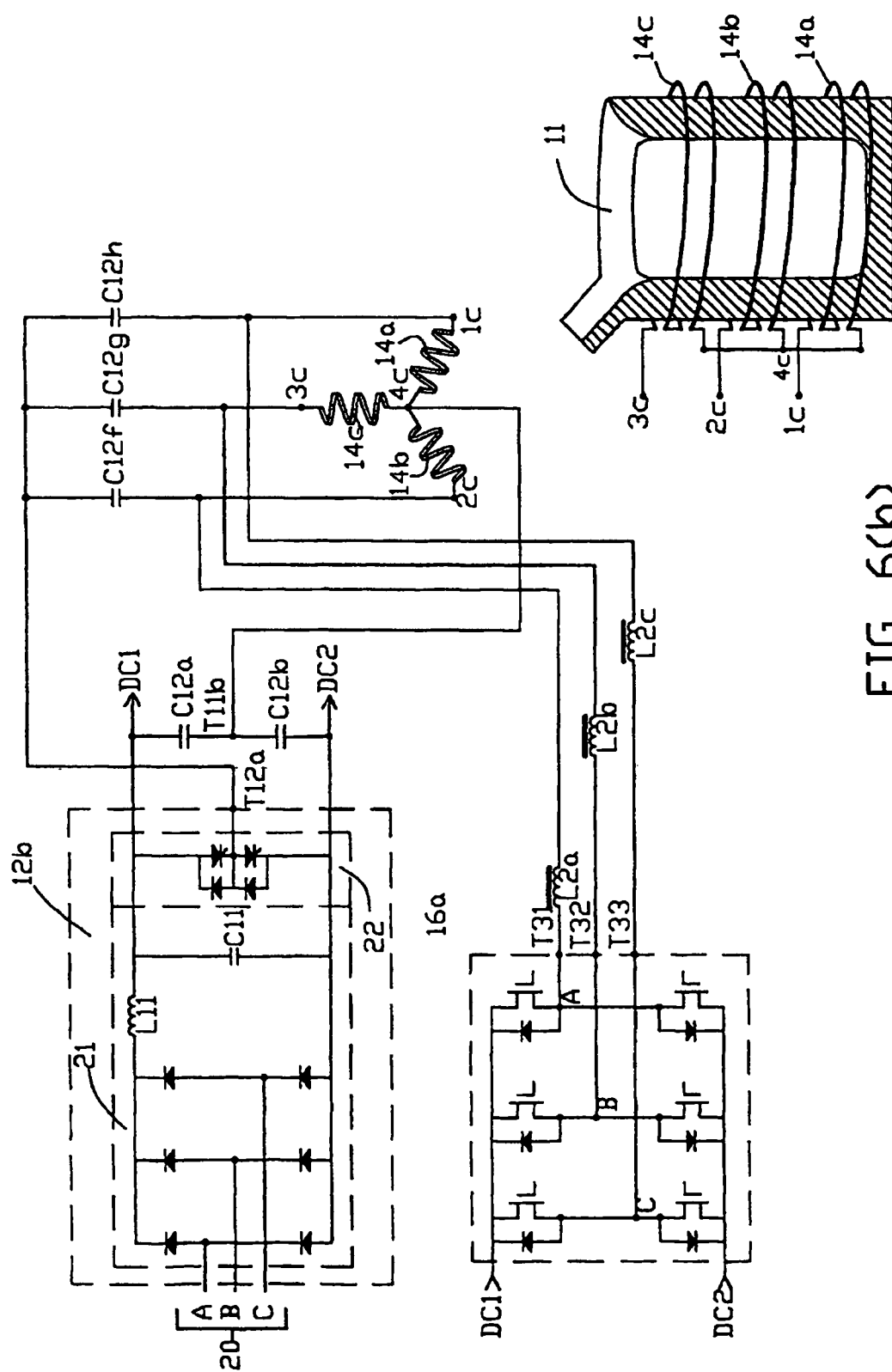


FIG. 6(b)

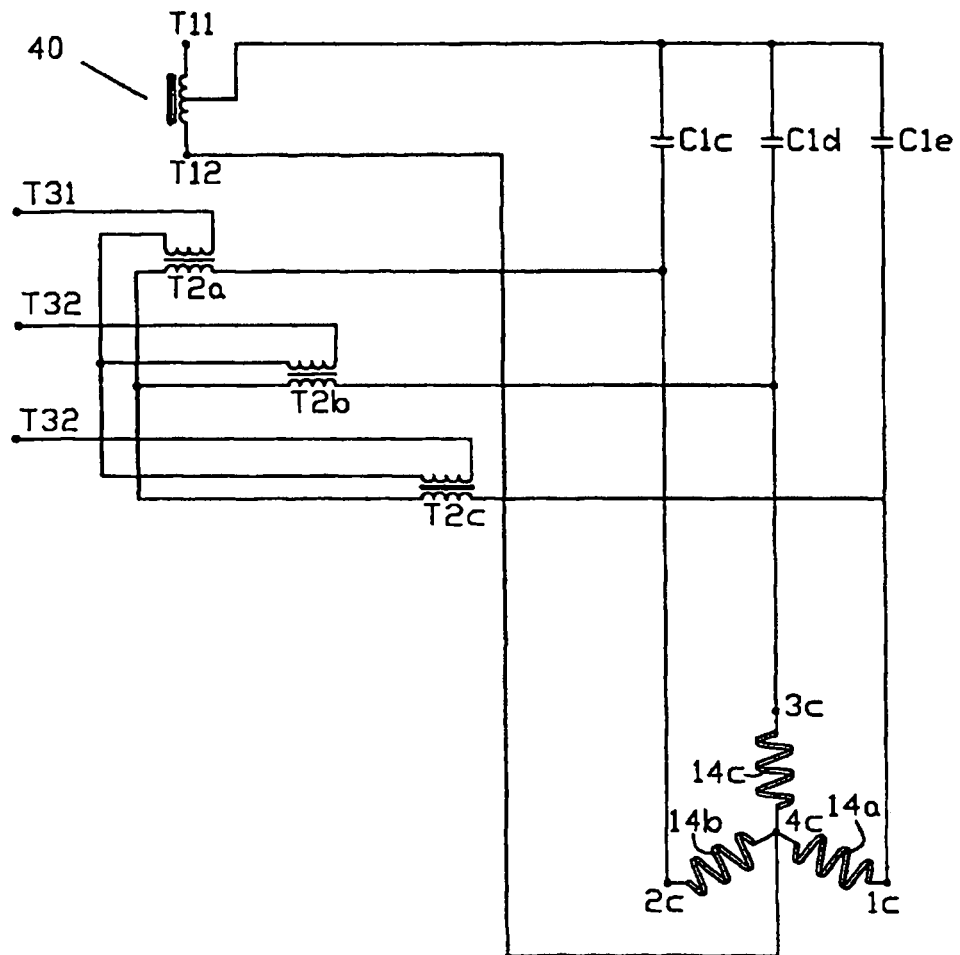


FIG. 7