

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 533 595**

51 Int. Cl.:

**H05B 6/06** (2006.01)

**H05B 6/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.05.2006 E 06114599 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.02.2015 EP 1729542**

54 Título: **Calentamiento por inducción con gradiente de una pieza de trabajo**

30 Prioridad:

**01.06.2005 US 141746**

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

**13.04.2015**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**FISHMAN, OLEG S y  
NADOT, VLADIMIR V**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 533 595 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 por inducción con gradiente de una pieza de trabajo

### Campo del invento

El presente invento se refiere al de calentamiento por inducción con gradiente controlado de una pieza de trabajo.

### 5 Antecedentes del invento

Es ventajoso calentar ciertas piezas de trabajo a un gradiente de temperatura a lo largo de una dimensión de la pieza de trabajo. Por ejemplo una pieza de trabajo cilíndrica de aluminio, o lingote, que sufre un proceso de extrusión es calentada generalmente a una temperatura más elevada a lo largo de su sección transversal en el extremo del lingote que es el extraído en primer lugar de la extrusora que de la sección transversal en el extremo opuesto del lingote. Esto se hace ya que el propio proceso de extrusión es exotérmico y calienta el lingote cuando pasa a través de la extrusora. Si el lingote era calentado uniformemente a través de su sección transversal a lo largo de su eje longitudinal completo, el extremo opuesto del lingote sería sobrecalentado antes de la extrusión y experimentaría una deformación por calor suficiente para hacer imposible la extrusión.

Un método de conseguir un calentamiento por inducción con gradiente de un lingote eléctricamente conductor, tal como un lingote de aleación de aluminio a lo largo de su eje longitudinal, es rodear el lingote con bobinas de inducción de solenoide secuenciales discretas. Cada bobina está conectada a una fuente de corriente a la frecuencia de línea de suministro (es decir 50 ó 60 Hz). La corriente que circula a través de cada bobina de solenoide establece un campo de flujo longitudinal alrededor de la bobina que penetra en el lingote y lo calienta inductivamente. Con el fin de conseguir un calentamiento con gradiente a lo largo del eje longitudinal del lingote, cada bobina de forma secuencial desde un extremo del lingote al otro suministra generalmente una menor magnitud de corriente (energía) a la bobina. Pueden utilizarse rectificadores de silicio controlados en serie con la bobina de inducción para conseguir corrientes ajustables en la secuencia de bobinas.

El uso de la frecuencia de la línea de suministro constituye una fuente de corriente simple pero limita el rango de los tamaños de lingote que pueden ser calentados comercialmente en tal disposición. La profundidad de penetración (en metros) de la corriente de inducción es definida por la ecuación,  $503(\rho/\mu F)^{1/2}$ , donde  $\rho$  es la resistividad eléctrica del lingote en  $\Omega \cdot m$ ;  $\mu$  es la permeabilidad magnética relativa (sin dimensiones) del lingote; y F es la frecuencia del campo aplicado. La permeabilidad magnética de un lingote no magnético, tal como el aluminio, es 1. El aluminio a 500° C tiene una resistividad eléctrica de 0,087  $\mu\Omega \cdot metro$ . Por ello a partir de la ecuación, con F igual a 60 Hz, la profundidad de penetración puede ser calculada como aproximadamente de 19,2 mm, o aproximadamente 0,8 pulgadas. El calentamiento por inducción de un lingote es realizado prácticamente mediante un proceso de "termodifusión" en vez de intentar calentar inductivamente la sección transversal completa del lingote de una vez. Es decir el campo inducido penetra en una parte de la sección transversal del lingote, y se permite que el calor inducido irradie (se termodifunda) al centro del lingote. Típicamente una profundidad de penetración de campo inducida de una quinta parte del radio en sección transversal del lingote es reconocida como una profundidad de penetración eficiente. Por ello un lingote de aluminio con un radio de 10,2 mm (4 pulgadas) da como resultado la profundidad óptima de penetración de 19,2 mm (0,8 pulgadas) con una corriente de 60 Hercios. Consecuentemente el rango de tamaños de lingote que pueden ser calentados por inducción eficientemente con una única frecuencia está limitado.

El documento DE-A-3710085 (Asea Brown Boveri) describe un aparato para calentar inductivamente piezas de trabajo en el que un inversor para cada uno de un número de inductores está conectado por una bobina de autoinducción de filtrado respectiva a la salida de un rectificador y cada inversor es controlado de manera independiente de los otros por un circuito oscilante de carga asociado.

El documento WO-A-00/28787 (Inductotherm) describe una bobina de inducción de múltiples secciones que rodea a un susceptor. La energía es proporcionada a cada una de las secciones de la bobina a partir de una única fuente de corriente a través de un circuito de conmutación.

45 Un objetivo del presente invento es proporcionar un aparato y un método de calentamiento inductivo con gradiente de un lingote con una frecuencia de corriente que puede ser fácilmente cambiada para tamaños variables de la pieza de trabajo.

### Breve resumen del invento

50 El presente invento proporciona un aparato como se ha descrito en la reivindicación 1 y un método como se ha descrito en la reivindicación 7. Otros aspectos del invento están descritos en las reivindicaciones dependientes.

### Breve descripción de los dibujos

Las figuras, en unión con la memoria y las reivindicaciones, ilustran uno o más modos no limitativos de puesta en práctica del invento. El invento no está limitado a la implantación ilustrada y al contenido de los dibujos.

La fig. 1 es una vista esquemática simplificada que ilustra un ejemplo del aparato de calentamiento o fusión por inducción

con gradiente del presente invento.

La fig. 2 es una vista esquemática simplificada que ilustra una de una pluralidad de alimentaciones de corriente utilizadas en el aparato de calentamiento o fusión por inducción con gradiente del presente invento.

5 La fig. 3 es un gráfico que ilustra los resultados típicos en corrientes de bobina de carga para variaciones en las tensiones de salida del inversor para un ejemplo del aparato de calentamiento o fusión por inducción con gradiente del presente invento.

### Descripción detallada del invento

10 Se ha mostrado en la fig. 1 un ejemplo de un aparato 10 de calentamiento por inducción con gradiente del presente invento. La pieza de trabajo en este ejemplo particular no limitativo, es el lingote 12. Las dimensiones del lingote en la fig. 1 están exageradas para mostrar las bobinas secuenciales de inducción 14a a 14f alrededor de la pieza de trabajo. La pieza de trabajo puede ser cualquier tipo de pieza de trabajo eléctricamente conductora que requiere calentamiento con gradiente a lo largo de una de sus dimensiones pero por conveniencia, en este ejemplo específico, se hará referencia a la pieza de trabajo como si se tratara de un lingote y el calentamiento con gradiente será conseguido a lo largo del eje longitudinal del lingote. En otros ejemplos del invento, la pieza de trabajo puede ser un material eléctricamente conductor colocado dentro de un crisol, o un susceptor que es calentado para transferir calor a otro material. En estos ejemplos del invento, las bobinas de inducción están dispuestas alrededor del crisol o susceptor para proporcionar un calentamiento con gradiente del material situado en el crisol o susceptor.

15 Las bobinas de inducción 14a a 14f están mostradas diagramáticamente en la fig. 1. Prácticamente las bobinas serán bobinas de solenoide enrolladas fuertemente y adyacentes una a otra con la separación que se requiera para impedir un cortocircuito entre bobinas, lo que puede ser conseguido colocando un material dieléctrico entre las bobinas. Otras configuraciones de bobina son consideradas dentro del marco del invento.

20 Las alimentaciones de corriente moduladas en anchura de impulso (PWM) 16a a 16f pueden suministrar diferentes corrientes (energía) de valor de valor eficaz a las bobinas de inducción 14a a 14f, respectivamente. Cada alimentación de corriente puede incluir una alimentación de corriente de un rectificador/inversor con un condensador de filtro de paso bajo ( $C_F$ ) conectado a través de la salida del rectificador 60 y un condensador de sintonización ( $C_{TF}$ ) conectado a través de la entrada del inversor 62 como se ha mostrado en la fig. 2, y como se ha descrito en la Patentes Norteamericana nº 6.696.770 titulada *Alimentación de Corriente de Calentamiento o Fusión por Inducción que Utiliza un Condensador de Sintonización*. En la fig. 2,  $L_{fc}$  es un filtro en línea opcional y  $L_{cl}$  es una reactancia limitadora de corriente. La salida de cada alimentación de corriente es una tensión modulada en anchura del impulso a cada una de las bobinas de inducción.

25 La fig. 2 ilustra además los detalles de una alimentación de corriente típica en la que la fuente de corriente no limitativa (líneas designadas A, B y C) a cada la alimentación de corriente es de 400 voltios, 30 Hz. El inversor 62 comprende un inversor de puente completo que utiliza dispositivos de conmutación IGBT. En otros ejemplos del invento el inversor puede estar configurado de otro modo tal como un inversor resonante o un inversor que utiliza otros tipos de dispositivos de conmutación. Un microcontrolador MC proporciona un medio para las funciones de control e indicación para la alimentación de corriente. Lo más relevante para el presente invento, el microcontrolador controla los circuitos de control para los cuatro dispositivos de conmutación IGBT en el circuito de puente. En este ejemplo no limitativo del invento los circuitos de control están representados por una agrupación de puerta programable de campo (FGPA), y las señales de control pueden ser suministradas a las puertas G1 a G4 por un enlace de fibra óptica (indicado por las líneas de trazos 61 en la fig. 2). La bobina de inducción conectada a la salida de la alimentación de corriente mostrada en la fig. 2 está representada como una bobina de carga  $L_{load}$ . La bobina  $L_{load}$  representa una de las bobinas de inducción 14a a 14f en la fig. 1. El elemento resistivo R en la fig. 2 representa la impedancia resistiva del lingote 12 calentado que es insertada en el lingote, como se ha mostrado en la fig. 1.

30 En funcionamiento la salida modulada de anchura de impulso del inversor de cada alimentación de corriente 16a a 16f puede ser variada en duración, fase y/o magnitud para conseguir el grado requerido de calentamiento por inducción con gradiente del lingote. La fig. 3 es una ilustración gráfica típica de variaciones en las tensiones de salida ( $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_3$ ) procedentes de las alimentaciones de corriente para tres bobinas de inducción adyacentes que dan como resultado las corrientes de la bobina de carga  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ , respectivamente. Los perfiles de calentamiento deseados pueden ser incorporados a uno o más programas de ordenador que son ejecutados por un ordenador maestro que comunica con el microcontrolador en cada una de las alimentaciones de corriente. Las bobinas de inducción tienen una inductancia mutua; para impedir oscilaciones de latido de baja frecuencia todas las bobinas deberían operar sustancialmente a la misma frecuencia. Utilizando la flexibilidad proporcionada por el uso de inversores con salidas moduladas en anchura de impulso, todos los inversores son sincronizados. Es decir, la frecuencia de salida y la fase de todos los inversores están, en general, sincronizadas.

35 Mientras la energía fluye desde la salida de cada inversor a su bobina de inducción asociada dos dispositivos de conmutación dispuestos en diagonal (por ejemplo  $S_1$  y  $S_3$ , o  $S_2$  y  $S_4$  en la fig. 2) son conductores y se aplica tensión a través de la bobina de carga. En otros instantes la bobina es cortocircuitada y la corriente está circulando a través de un dispositivo de conmutación y un diodo antiparalelo (por ejemplo  $S_1$  y  $D_2$ ,  $S_2$  y  $D_1$ ,  $S_3$  y  $D_4$ , o  $S_4$  y  $D_3$  en la fig. 2). Esto minimiza la captación de energía procedente de bobinas adyacentes.

Con referencia de nuevo a la fig. 1, el control síncrono de las salidas de corriente de la pluralidad de alimentaciones de corriente es utilizado para minimizar la interferencia del circuito entre bobinas adyacentes. El bucle 40 de control en serie representa un medio no limitativo para el control síncrono de las señales de corriente de la pluralidad de alimentaciones de corriente. En este ejemplo no limitativo del invento el bucle 40 de control en serie puede comprender un enlace de cable de fibra óptica (FOL) que conecta en serie la totalidad de las alimentaciones de corriente. La entrada de control (ENTRADA DE CONTROL en la fig. 1) del enlace de control a cada alimentación de corriente puede ser un receptor de fibra óptica (FOR) y la salida de control (SALIDA DE CONTROL en la fig. 1) del enlace de control procedente de cada alimentación de corriente puede ser un transmisor de fibra óptica (FOT). Uno de los controladores de la pluralidad de alimentaciones de corriente, por ejemplo los controles de la alimentación de corriente 16a es seleccionado de modo programable como el controlador maestro. La SALIDA DE CONTROL del controlador maestro de la alimentación de corriente 16a emite un impulso 20 de sincronización normal a la ENTRADA DE CONTROL del controlador esclavo de la alimentación de corriente 16f. Si el controlador esclavo de la alimentación de corriente 16f está en un estado operativo normal, pasa el impulso de sincronización normal al controlador esclavo de la alimentación de corriente 16e, y así sucesivamente, hasta que el impulso de sincronización normal es devuelto a la ENTRADA DE CONTROL del controlador maestro de la alimentación de corriente 16a. Además cada controlador genera una corriente alterna de salida modulada en anchura de impulso independiente para cada inversor en la pluralidad de alimentaciones de corriente. En el caso de una condición anormal en cualquiera de las alimentaciones de corriente, el controlador afectado puede emitir un impulso operativo anormal al controlador de la siguiente alimentación de corriente. Por ejemplo mientras un impulso de sincronización normal puede ser del orden de 2 microsegundos, un impulso operativo anormal puede ser del orden de 50 microsegundos. Los impulsos operativos anormales son procesados por los controladores de aguas arriba de las alimentaciones de corriente para interrumpir o modificar el proceso de calentamiento por inducción. Generalmente el retardo de tiempo en la transmisión de ida y vuelta del impulso de sincronización desde el controlador maestro y al mismo es despreciable. En el caso de fallo de uno de los controladores, una señal de sincronización no volverá al controlador maestro, lo que dará como resultado la ejecución de una rutina de condición o estado anormal, tal como detener una generación de impulso de sincronización normal subsiguiente.

En el ejemplo anterior no limitativo del invento se han utilizado seis alimentaciones de corriente y bobinas de inducción. En otros ejemplos del invento pueden utilizarse otras cantidades de alimentaciones de corriente y bobinas sin desviarse del marco del invento.

Los ejemplos del invento incluye referencia a componentes eléctricos específicos. Un experto en la técnica puede poner en práctica el invento sustituyendo componentes que no son necesariamente del mismo tipo pero crearán las condiciones deseadas o cumplirán los resultados deseados del invento. Por ejemplo, componentes individuales puede ser sustituidos por componentes múltiples o viceversa.

Los anteriores ejemplos no limitan el marco del invento. El marco del invento está descrito en las reivindicaciones adjuntas.

35

**REIVINDICACIONES**

1. Aparato para calentar o fundir por inducción con gradiente una pieza de trabajo (12), comprendiendo el aparato:  
una pluralidad de bobinas de inducción (14a- 14f) para disposición secuencial alrededor de la pieza de trabajo;  
y
- 5 una alimentación de corriente (16a-16f) para cada una de la pluralidad de bobinas de inducción, incluyendo cada una de las alimentaciones de corriente un inversor (INV) que tiene una salida de corriente alterna conectada a una respectiva de la pluralidad de bobinas de inducción;  
caracterizado porque:  
una línea de control (40) está conectada entre las alimentaciones de corriente;
- 10 la salida de corriente alterna del inversor de cada una de las alimentaciones de corriente tiene control de modulación de anchura de impulso; y  
la línea de control controla de manera síncrona la salida de corriente alterna modulada en anchura de impulso del inversor de cada una de las alimentaciones de corriente.
- 15 2. Un aparato según la reivindicación 1, en el que el inversor de cada una de las alimentaciones de corriente comprende al menos cuatro dispositivos de conmutación de estado sólido ( $S_1, S_2, S_3, S_4$ ) y un controlador (MC) asociado con cada inversor controla los dispositivos de conmutación de estado sólido del inversor.
3. Un aparato según la reivindicación 1 ó 2, en el que al menos uno de los inversores tiene un condensador de sintonización ( $C_{TF}$ ) a través de la entrada del inversor.
- 20 4. Un aparato según cualquier reivindicación precedente, en el que la pluralidad de bobinas de inducción son bobinas de inducción de solenoide enrolladas fuertemente dispuestas una junto a otra con una separación dieléctrica para impedir el cortocircuito entre bobinas adyacentes.
5. Un aparato según cualquier reivindicación precedente, en el que la pieza de trabajo comprende material eléctricamente conductor colocado dentro de un crisol.
6. Un aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la pieza de trabajo comprende un susceptor.
- 25 7. Un método de calentar o fundir con gradiente una pieza de trabajo (12) por inducción, que comprende las operaciones de:  
suministrar corriente alterna desde un inversor respectivo (INV) a cada una de una pluralidad de bobinas de inducción (14a-14f) dispuestas alrededor y a lo largo de la longitud de la pieza de trabajo;  
inducir un campo magnético separado alrededor de cada una de la pluralidad de bobinas de inducción;
- 30 caracterizado por:  
modular en anchura de impulso la corriente alterna procedente de cada uno de los inversores separados para cada una de la pluralidad de bobinas de inducción; y  
variar la modulación de anchura de impulso de la corriente alterna procedente de cada uno de los inversores separados.
- 35 8. Un método según la reivindicación 7, que incluye la operación de insertar un condensador de sintonización ( $C_{TF}$ ) a través de la entrada de al menos uno de los inversores separados.
9. Un método según la reivindicación 7 u 8, que incluye la operación de sincronizar la modulación de anchura de impulso de la corriente alterna procedente de cada uno de los inversores.
- 40 10. Un método según la reivindicación 9, que incluye la operación de transmitir una señal de control en serie entre los inversores para sincronizar la modulación de anchura de impulso de la corriente alterna procedente de cada uno de los inversores separados.
11. Un método según la reivindicación 10, en el que la señal de control comprende una señal de control maestra generada en uno de los inversores para transmisión en serie a la pluralidad de inversores restante.
- 45 12. Un método según la reivindicación 11, en el que uno de los inversores genera una señal de control anormal en serie a aquél de los inversores en el que la señal de control maestra es generada.

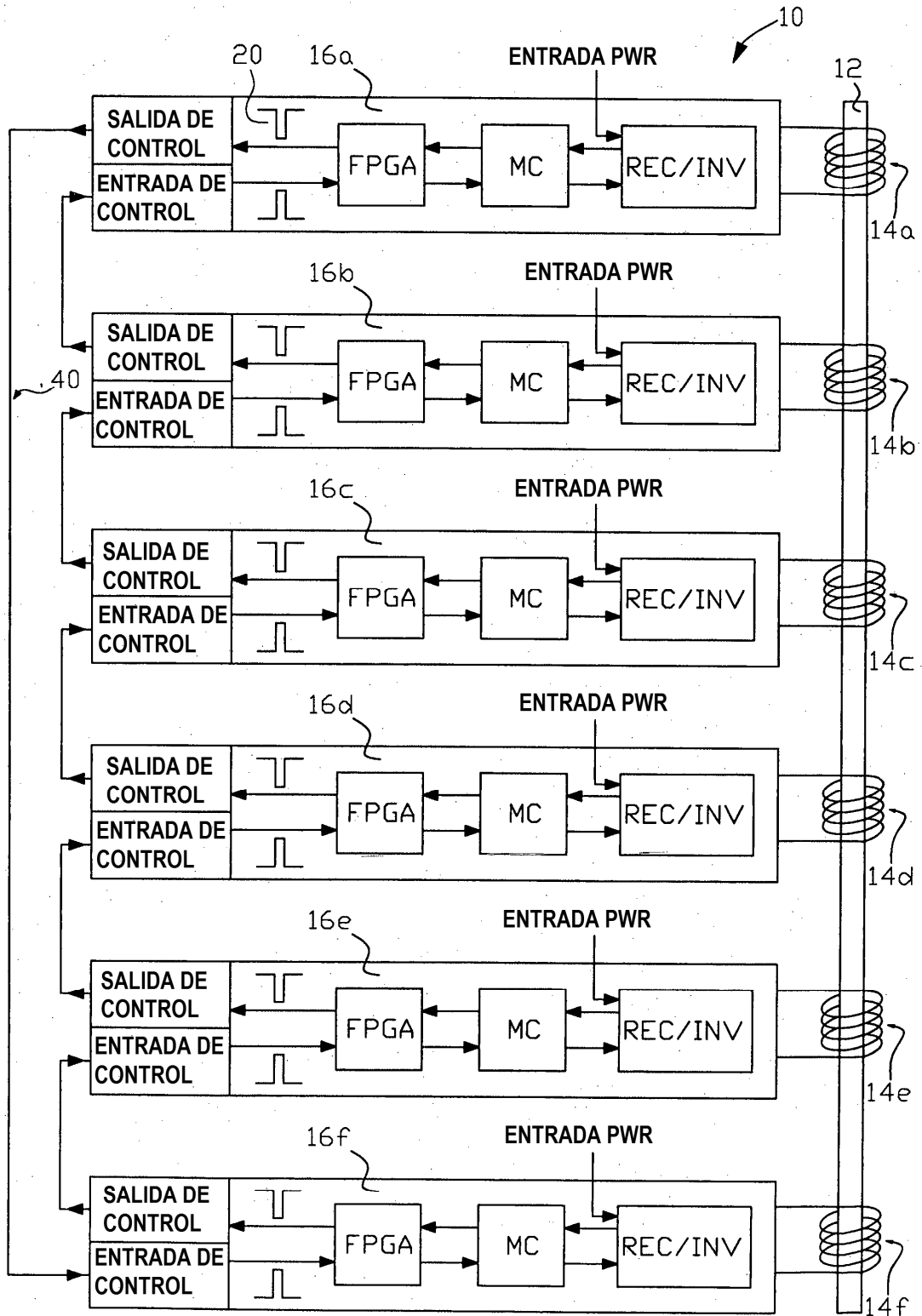


FIG. 1

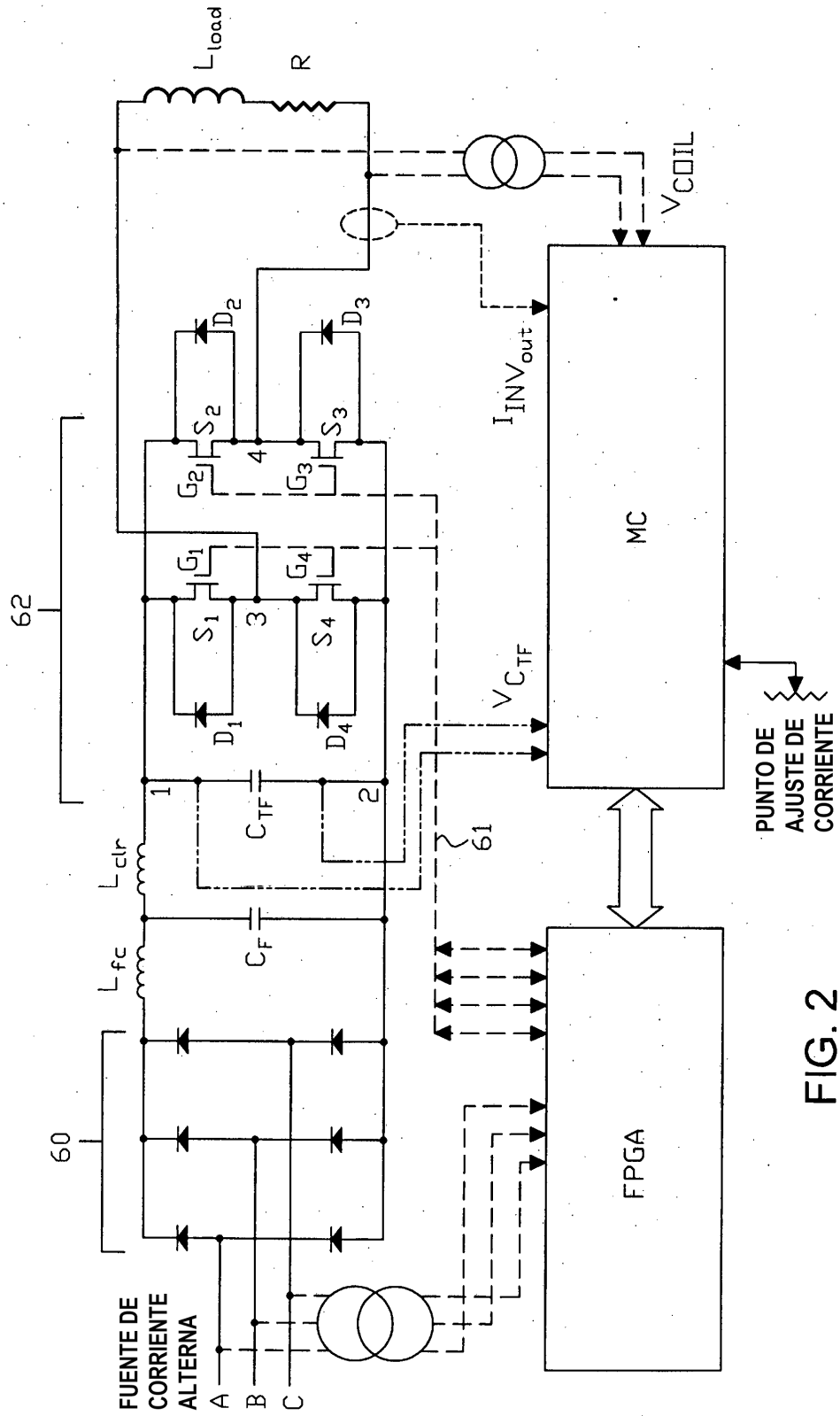


FIG. 2

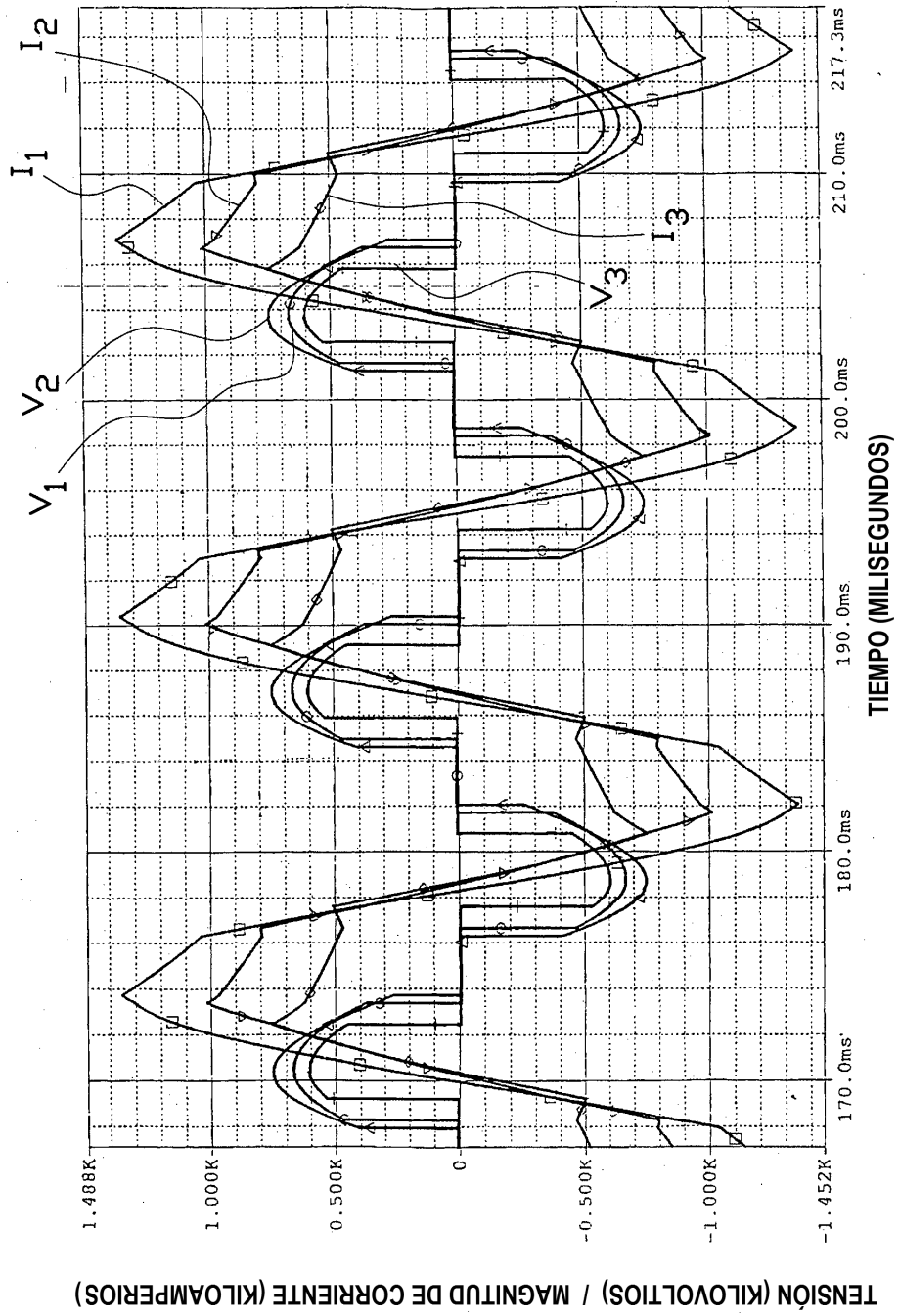


FIG. 3