

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 692 808**

51 Int. Cl.:

H02M 1/32 (2007.01)

H02M 5/458 (2006.01)

H05B 6/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.12.2014 PCT/JP2014/084733**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.06.2015 WO15093623**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2014 E 14827557 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.07.2018 EP 3084944**

54 Título: **Aparato de conversión de corriente y método de conversión de corriente**

30 Prioridad:

19.12.2013 JP 2013263116

19.12.2013 JP 2013263117

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

05.12.2018

73 Titular/es:

NETUREN CO., LTD. (100.0%)

**17-1, Higashigotanda 2-chome Shinagawa-ku
Tokyo 141-8639, JP**

72 Inventor/es:

KANAI, TAKAHIKO;

ONO, TETSUYA y

ITO, JUNYA

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 692 808 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

Aparato de conversión de corriente y método de conversión de corriente

Campo técnico

La presente invención se refiere a un aparato de conversión de corriente y un método de conversión de corriente.

5 Antecedentes de la técnica

Los métodos de calentamiento eléctricos para un tratamiento térmico incluyen calentamiento por inducción y calentamiento eléctrico directo. En el tratamiento de endurecimiento en particular, que es un tipo de tratamiento térmico que usa el calentamiento por inducción, se selecciona una frecuencia adecuada de acuerdo con la profundidad del tratamiento térmico en una pieza de trabajo.

10 De acuerdo con un aparato de conversión de corriente de la técnica relacionada para el tratamiento térmico, la corriente continua se convierte en corriente de alta frecuencia realizando una conmutación que usa un dispositivo semiconductor de potencia (véase, por ejemplo, folleto del transistor inversor MK16a, de Neturen Co., Ltd., www.k-neturen.co.jp/eng/business/induction/pdf/MK16Aenglish.pdf). Los ejemplos del dispositivo de conmutación de semiconductores de potencia incluyen un tiristor de menos de 10 kHz, un IGBT de 10 kHz a 100 kHz y un MOSFET de más de 100 kHz.

Comparando la frecuencia de oscilación de 10 kHz y la frecuencia de oscilación de 100 kHz, el dispositivo semiconductor de potencia experimenta un aumento de temperatura muy diferente debido a una diferencia de 10 veces la frecuencia de conmutación. Es decir, si se establece una capacidad (valor nominal máximo) de un inversor del aparato de conversión de corriente basándose en la frecuencia máxima de un intervalo operable del aparato, el aumento de temperatura es pequeño cuando la frecuencia de salida es baja y, por lo tanto, la operación no es económica.

En un aparato de conversión de corriente que tiene un dispositivo semiconductor de potencia como se ha descrito anteriormente, la temperatura se controla de tal manera que la temperatura de unión del dispositivo semiconductor de potencia no supera una temperatura dada. Más específicamente, se conecta un termostato a la periferia del dispositivo semiconductor de potencia o se incorpora un termistor en el dispositivo semiconductor de potencia. La salida de la corriente se controla o suspende solo después de que la temperatura real haya alcanzado la temperatura dada.

Otro aparato de la técnica de conversión de corriente relacionado con la técnica incluye un dispositivo semiconductor para realizar una conversión de corriente, unas aletas de radiación de calor para irradiar el calor generado por el dispositivo semiconductor, un ventilador de refrigeración para refrigerar las aletas de radiación, una unidad de detección para detectar un parámetro relativo al rendimiento de refrigeración del ventilador de refrigeración, y una unidad de control (véase, por ejemplo, el documento JP2012-39745A). En este aparato de conversión de corriente, se estima una temperatura de unión del dispositivo semiconductor basándose en un resultado de detección de la unidad de detección, una pérdida del dispositivo semiconductor y una temperatura ambiente del dispositivo semiconductor, y el dispositivo semiconductor se controla de manera tal que la temperatura de unión estimada no supera una temperatura dada.

Sin embargo, de acuerdo con el método de control de temperatura descrito anteriormente, ya que la salida de corriente solo se suspende después de que la temperatura real haya llegado a la temperatura dada, un rápido aumento de temperatura no puede abordarse debido a un retardo de respuesta de un sensor de temperatura, y puede conducir a un daño del dispositivo semiconductor. De acuerdo con el aparato de conversión de corriente de la técnica relacionada descrito anteriormente, el dispositivo semiconductor se refrigera con aire, y la temperatura de unión del dispositivo semiconductor se estima teniendo en cuenta el parámetro relacionado con el rendimiento de refrigeración con aire. Además, el sensor de temperatura está conectado a la periferia del dispositivo semiconductor, y la temperatura de unión del dispositivo semiconductor se estima basándose en la temperatura detectada por el sensor de temperatura. Sin embargo, el valor de temperatura medido varía en gran medida en función de la posición en la que está conectado el sensor de temperatura. En consecuencia, esta técnica relacionada no puede controlar el dispositivo semiconductor con suficiente precisión.

Sumario de la invención

Es un objeto de la presente invención proporcionar un aparato de conversión de corriente y un método de conversión de corriente económicos para el tratamiento térmico que puede variar la salida dentro de un valor nominal de acuerdo con una condición de uso.

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato de conversión de corriente para el tratamiento térmico de acuerdo con la reivindicación 1. El aparato de conversión de corriente incluye un rectificador configurado para convertir la corriente alterna a corriente continua, un filtro de regulación configurado para controlar la corriente continua recibida desde el rectificador para que sea constante, un inversor configurado para convertir la corriente continua recibida desde el filtro de regulación en corriente de alta frecuencia conectando y desconectando la corriente continua usando un dispositivo de conmutación, y una unidad de control configurada para controlar el rectificador y el inversor. El valor nominal de la corriente de salida del inversor se determina de acuerdo con la frecuencia de la salida de corriente de alta frecuencia del inversor, un tiempo de aplicación de corriente y una tasa de operación obtenida dividiendo el tiempo de aplicación de corriente por una suma del tiempo de aplicación de corriente y un tiempo de no aplicación de corriente.

La unidad de control puede tener unos datos que definen una relación entre una frecuencia del dispositivo de conmutación, el tiempo de aplicación de corriente, la tasa de operación, y la corriente de salida a una temperatura a la que puede operarse el dispositivo de conmutación, y cuando se proporcionan el tiempo de aplicación de corriente y la tasa de operación, la unidad de control puede calcular una corriente máxima permitida basándose en los datos y puede suspender o controlar la corriente de salida.

De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método de conversión de corriente para un tratamiento térmico de acuerdo con la reivindicación 3. El método de conversión de corriente incluye la conversión de la corriente alterna a corriente continua y la conversión de la corriente continua en corriente de alta frecuencia conectando y desconectando la corriente continua usando un dispositivo de conmutación. El método de conversión de corriente incluye además aumentar la corriente de salida máxima de acuerdo con la frecuencia de la salida de corriente de alta frecuencia del inversor, un tiempo de aplicación de corriente y una tasa de operación obtenida dividiendo el tiempo de aplicación de corriente por una suma del tiempo de aplicación de corriente y un tiempo de no aplicación de corriente, de tal manera que una temperatura de unión del dispositivo de conmutación no supere una temperatura dada.

La corriente de salida máxima puede aumentarse hasta un límite superior de la temperatura de unión del dispositivo de conmutación que alcanza una temperatura nominal del dispositivo de conmutación, obteniéndose la temperatura de unión a partir de la diferencia entre un aumento de temperatura debido a una pérdida del dispositivo de conmutación y una disminución de temperatura debida a la refrigeración del dispositivo de conmutación.

La pérdida del dispositivo de conmutación puede determinarse basándose en la suma de una pérdida de conducción del dispositivo de conmutación y una pérdida por conmutación del dispositivo de conmutación.

El tiempo durante el que se aplica la corriente eléctrica al dispositivo de conmutación es más corto que el tiempo para cambiar y ajustar una pieza de trabajo a tratar térmicamente.

De acuerdo con el aparato y el método descritos anteriormente, ya que el valor nominal se determina de acuerdo con la frecuencia, el tiempo de aplicación de corriente y la tasa de operación, la salida puede aumentarse dentro del valor nominal del dispositivo de conmutación cuando se convierte en una corriente de baja frecuencia. En consecuencia, pueden proporcionarse un aparato y un método económicos.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama que ilustra una configuración de un aparato de conversión de corriente de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 2 es un diagrama que ilustra la tasa de operación.

La figura 3 es un diagrama que ilustra una parte de los datos almacenados en una unidad de control.

Las figuras 4A y 4B son unos diagramas que ilustran un concepto de diseño del aparato de conversión de corriente de acuerdo con una realización de la presente invención; la figura 4A ilustra una forma de onda de corriente de colector y una forma de onda de tensión colector-emisor de un dispositivo de conmutación, y la figura 4B ilustra una forma de onda de pérdida.

Las figuras 5A a 5C son diagramas que ilustran un método para calcular una temperatura de unión del dispositivo de conmutación basándose en una corriente de pulso rectangular que se repite regularmente.

Las figuras 6A y 6B son diagramas que ilustran los datos almacenados en la unidad de control, que muestran las relaciones entre la tasa de operación y la corriente a 3 kHz y 50 kHz, respectivamente, siendo el tiempo de aplicación de corriente un parámetro.

La figura 7 es un diagrama que ilustra una configuración de un aparato de conversión de corriente de acuerdo con un ejemplo comparativo.

La figura 8 es un diagrama que ilustra un circuito de resistencia térmica de un dispositivo semiconductor de potencia para refrigerar agua a través de una base de metal y un disipador de calor en el aparato de conversión de corriente mostrado en la figura 7.

La figura 9 es un diagrama que muestra los datos almacenados en una unidad de control mostrada en la figura 7, que indica las características del dispositivo semiconductor de potencia.

La figura 10 es un diagrama que ilustra un método por el que la unidad de control estima una temperatura de unión del dispositivo semiconductor de potencia al cambiar la salida en respuesta a una instrucción de cambio de salida.

10 Descripción de las realizaciones

En lo sucesivo en el presente documento, se describirá en detalle una realización de la presente invención haciendo referencia a las figuras 1 a 6B.

La figura 1 es un diagrama que ilustra una configuración de un aparato de conversión de corriente de acuerdo con una realización de la presente invención. Como se muestra en la figura 1, un aparato de conversión de corriente 10 para un tratamiento térmico (en lo sucesivo en el presente documento, el aparato de conversión de corriente 10) incluye un rectificador 11 configurado para convertir la corriente alterna en corriente continua, un filtro de regulación 12 configurado para controlar la corriente continua recibida desde el rectificador 11 para que sea constante, un inversor 13 configurado para convertir la corriente continua recibida desde el filtro de regulación 12 en una corriente de alta frecuencia conectando y desconectando un dispositivo de conmutación a una frecuencia dada, y una unidad de control 14 configurada para controlar el rectificador 11 y el inversor 13.

El rectificador 11, también llamado convertidor, convierte la corriente alterna comercial en corriente continua rectificando la corriente alterna comercial. El rectificador 11 ajusta la magnitud de la corriente de salida del aparato de conversión de corriente 10 bajo el control de salida por la unidad de control 14.

Cuando el aparato de conversión de corriente 10 es de un tipo de corriente, el filtro de regulación 12 regula las ondas en una salida de corriente eléctrica del rectificador 11 por medio de un reactor, y emite la corriente resultante al inversor 13. Cuando el aparato de conversión de corriente 10 es de un tipo de tensión, el filtro de regulación 12 regula las ondas en una salida de tensión del rectificador 11 por medio de un condensador, y emite la tensión resultante al inversor 13.

El dispositivo semiconductor de potencia, como el dispositivo de conmutación, está configurado para formar un circuito puente, y mediante la conmutación del dispositivo semiconductor de potencia, el inversor 13 convierte la corriente continua en corriente de alta frecuencia y emite la corriente de alta frecuencia.

La unidad de control 14 controla el rectificador 11 enviando una señal de control de salida y una señal de instrucción de parada anormal al rectificador 11, y controla el inversor 13 enviando una señal de control de frecuencia y una señal de instrucción de parada anormal al inversor 13. La unidad de control 14 recibe señales de realimentación desde el rectificador 11 y el inversor 13 respectivamente, y detecta las condiciones del rectificador 11 y el inversor 13.

De acuerdo con una realización de la invención, la unidad de control 14 suspende o controla la salida del inversor 13 de acuerdo con la frecuencia de la salida de corriente de alta frecuencia del inversor 13, el tiempo de aplicación de corriente, y la tasa de operación. Con este fin, la unidad de control 14 tiene unos datos que definen una relación entre la frecuencia del dispositivo de conmutación, el tiempo de aplicación de corriente, la tasa de operación y la corriente de salida a una temperatura a la que puede operarse el dispositivo de conmutación. Cuando se proporcionan el tiempo de aplicación de corriente y la tasa de operación, la unidad de control 14 calcula una corriente máxima permitida basándose en los datos anteriores. Cuando una corriente de salida del rectificador 11 detectada por una señal de realimentación recibida desde el rectificador 11 supera la corriente máxima permitida que se calcula basándose en el tiempo de aplicación de corriente, la tasa de operación y la frecuencia, la unidad de control 14 suspende o disminuye la salida del inversor 13. La corriente máxima permitida se calcula basándose en los datos que definen la relación entre la frecuencia del dispositivo de conmutación, el tiempo de aplicación de corriente, la tasa de operación y la corriente a una temperatura a la que puede operarse el dispositivo de conmutación, y es la corriente máxima que se permite fluir bajo las condiciones dadas. De esta manera, incluso durante la operación del aparato de conversión de corriente 10, la unidad de control 14 suspende o controla la salida del aparato de conversión de corriente 10 basándose en un aumento de temperatura provocado por la operación del dispositivo conmutador, con la corriente de salida máxima, es decir, clasificando la capacidad del inversor 13.

A continuación, se describirá la tasa de operación α haciendo referencia a la figura 2. En la figura 2, el eje horizontal representa el tiempo y el eje vertical representa la salida. La tasa de operación α viene dada por la siguiente ecuación.

$$5 \quad \text{Tasa de operación } \alpha = \text{Corriente - Tiempo de aplicación de corriente } t_p / \text{Ciclo } \tau \\ = \text{Tiempo de aplicación de corriente } t_p / (\text{Tiempo de aplicación de corriente} + \text{Tiempo no de aplicación de corriente})$$

El tiempo de aplicación de corriente t_p es un tiempo durante el que la corriente de alta frecuencia se emite desde el inversor 13. El ciclo τ es la suma del tiempo de aplicación de corriente y el tiempo de no aplicación de corriente y es un momento desde una salida de un pulso a una salida del siguiente pulso.

10 Los datos almacenados en la unidad de control 14 indican una relación de la corriente que provoca un aumento de temperatura de unión ΔT_j del dispositivo de conmutación con respecto a la tasa de operación α , el tiempo de aplicación de corriente t_p , y la frecuencia. La figura 3 es un diagrama que ilustra una parte de los datos almacenados en la unidad de control 14. En la figura 3, el eje horizontal representa la tasa de operación α (%) y el eje vertical representa la potencia (kW). Cuando la tasa de operación es del 100 %, la potencia se fija en P1, proporcionando de este modo un valor nominal continuo. Cuando la tasa de operación disminuye, la potencia aumenta. Cuando se acorta el tiempo de aplicación de corriente, la cantidad de aumento de la potencia aumenta.

20 El concepto de diseño del aparato de conversión de corriente 10 de acuerdo con una realización de la invención se describirá haciendo referencia a las figuras 4A y 4B. La figura 4A muestra una forma de onda de corriente de colector I_C y una forma de onda de tensión de colector-emisor V_{CE} del dispositivo de conmutación, y la figura 4B muestra una forma de onda de pérdida. En las figuras 4A y 4B, ambos ejes horizontales representan el tiempo t . El valor nominal de la salida del aparato de conversión de corriente 10 está determinado por las características de temperatura del dispositivo de conmutación y otras características tales como una tensión nominal y un equilibrio de temperatura. La temperatura del dispositivo de conmutación se determina por la pérdida y la refrigeración del dispositivo de conmutación. La pérdida del dispositivo de conmutación viene dada por lo siguiente.

$$\text{Pérdida del dispositivo} = \text{Pérdida constante} + \text{Pérdida de conmutación}$$

25 Como se muestra en las figuras 4A y 4B, cuando la corriente de colector I_C y la tensión de colector-emisor V_{CE} se muestran siendo el eje horizontal el tiempo, la corriente de colector I_C conduce la tensión de colector-emisor V_{CE} en fase. Este desplazamiento de fase entre estas formas de onda provoca una pérdida por conmutación en una cantidad correspondiente al producto de la corriente de colector I_C y a la tensión de colector-emisor V_{CE} .

30 La pérdida de equilibrio es de una pérdida que se provoca por una aplicación de la corriente eléctrica al dispositivo de conmutación, es decir, una pérdida de conducción del dispositivo de conmutación, y depende de un valor de la corriente eléctrica a aplicar. Por otro lado, la pérdida por conmutación es proporcional al número de conmutaciones (es decir, la frecuencia). Por lo tanto, incluso con la misma corriente, la pérdida por conmutación aumenta y, por lo tanto, la pérdida de dispositivo aumenta a medida que la frecuencia aumenta.

35 A pesar de este hecho, los aparatos de conversión de corriente convencionales, tanto los aparatos de conversión de corriente para frecuencias de oscilación alta como los aparatos de conversión de corriente para frecuencias de oscilación bajas se clasifican con una frecuencia máxima a la que la pérdida es la más alta y con una suposición de una operación continua. Esto significa que, cuando una frecuencia es baja en un aparato de conversión de corriente para altas frecuencias, se hace fluir poca corriente aunque puede establecerse una corriente más alta. Además, no se tiene en cuenta el hecho de que existe tiempo suficiente para enfriar el dispositivo de conmutación en el caso de que se realice una activación muy breve (por ejemplo, varios segundos hasta un poco más de 10 segundos), en lugar de una activación continua, como se hace, por ejemplo, en el caso del endurecimiento de alta frecuencia.

45 En vista de lo anterior, de acuerdo con una realización de la presente invención, para cada frecuencia, la corriente de salida como el valor nominal se determina tomando en consideración el tiempo de enfriamiento del dispositivo de conmutación basándose en el tiempo de aplicación de corriente y la tasa de operación. Es decir, la unidad de control 14 determina, para cada frecuencia de oscilación del aparato de conversión de corriente, la corriente de salida calculando una corriente a la que la temperatura de unión no supera una temperatura dada de acuerdo con un tiempo de aplicación de corriente t_p y una tasa de operación α sobre la base de las características del dispositivo de conmutación usado en el inversor 13. Si la corriente de salida del inversor 13 llega a ser más grande que una corriente de referencia, la unidad de control 14 suspende la operación del rectificador 11 y del inversor 13 y suspende la salida del inversor 13. De esta manera, la salida del aparato de conversión de corriente se clasifica para cada una de las frecuencias que se ajustan finamente, teniendo en cuenta una tasa de operación y un tiempo de aplicación de corriente. Esto permite hacer un buen uso de los márgenes que están disponibles en un intervalo de baja frecuencia.

De acuerdo con el método de conversión de corriente de la realización descrita anteriormente, al convertir la corriente alterna en corriente continua y al convertir después la corriente continua en corriente de alta frecuencia conectando y desconectando la corriente continua usando el dispositivo de conmutación, la corriente de salida máxima aumenta de acuerdo con la frecuencia después de la conversión, el tiempo de aplicación de corriente y la tasa de operación obtenidos dividiendo el tiempo de aplicación de corriente por la suma del tiempo de aplicación de corriente y el tiempo no de aplicación de corriente, dentro de un intervalo en el que la temperatura de unión del dispositivo de conmutación no supera el valor dado.

Una temperatura de unión del dispositivo de conmutación se obtiene a partir de la diferencia entre un aumento de temperatura debido a la pérdida del dispositivo de conmutación y una disminución de temperatura debida a la refrigeración del dispositivo de conmutación, y la corriente de salida máxima se aumenta hasta que el límite superior de la temperatura de unión del dispositivo de conmutación alcanza la temperatura nominal del dispositivo de conmutación. Esto hace posible realizar un tratamiento térmico económico. En particular, la eficacia económica se mejora notablemente debido a que el tiempo durante el que se aplica la corriente eléctrica al dispositivo de conmutación es mucho más corto que el tiempo para cambiar y/o ajustar una pieza de trabajo a tratar térmicamente.

A continuación, se muestra un método de cálculo de ejemplo de un valor de corriente de referencia basado en que la unidad de control 14 suspende la salida. Las figuras 5A a 5C ilustran un método para calcular una temperatura de unión T_j del dispositivo de conmutación basándose en una corriente en la que se producen pulsos rectangulares repetida y regularmente. Como se muestra en la figura 5A, el tiempo de aplicación de corriente de la pérdida de potencia P_{tm} está representado por t_p , y el ciclo del mismo está representado por τ , respectivamente. Un aumento de temperatura se calcula haciendo una aproximación de pérdida de potencia promediando las pérdidas de corriente de los impulsos distintos de los dos últimos (véase la figura 5B) y aplicando el principio de superposición al cálculo de pérdida de potencia (véase la figura 5C).

La temperatura de unión T_j del dispositivo de conmutación se calcula sobre la base de la corriente en la que se producen repetida y regularmente los pulsos rectangulares de acuerdo con la siguiente ecuación

$$T_j = T_w + P_{tm} \{ (t_p/\tau) \cdot R (j - w) + (1 - t_p/\tau) \cdot R (j - w) (\tau + t_p) - R (j - w) (\tau) + R (j - w) (t_p) \}.$$

Esta ecuación se modifica de la siguiente manera.

$$T_j - T_w = (T_\infty + T_3 - T_2 + T_1) \cdot P_{tm}$$

$$T_\infty = (t_p/\tau) \cdot R (j - w)$$

$$T_3 = (1 - t_p/\tau) \cdot R (j - w) (\tau + t_p)$$

$$T_2 = R (j - w) (\tau)$$

$$T_1 = R (j - w) (t_p).$$

T_∞ significa que la pérdida P_{tm} se produce con la tasa de aplicación de corriente t_p/τ para un tiempo infinito, y está dada por una resistencia térmica en el momento de un valor nominal continuo multiplicado por la tasa de aplicación de corriente t_p/τ .

T_3 significa que una parte correspondiente a la tasa de aplicación de corriente t_p/τ se resta de la pérdida del tiempo $(\tau + t_p)$.

$-T_2$ significa que se resta una pérdida de un tiempo τ .

T_1 significa que se suma una pérdida de un tiempo t_p .

τ indica el tiempo de ciclo, y $R (j-w) (t)$ indica una resistencia térmica transitoria ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$) de un tiempo t . T_w indica la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) del agua de refrigeración.

La temperatura de unión T_j se calcula de la manera descrita anteriormente. Cuando la temperatura de unión del dispositivo de conmutación del inversor 13 alcanza el valor de referencia, la unidad de control 14 suspende la operación del rectificador 11 y del inversor 13 y, por lo tanto, controla la salida. Esto se debe a que cuando se opera el dispositivo de conmutación, se produce una pérdida al aplicar la corriente eléctrica, y cuando la temperatura de unión llega a ser superior a la temperatura de referencia, el dispositivo de conmutación podría romperse. La pérdida se obtiene, por ejemplo, a partir de la suma de una pérdida constante y una pérdida por conmutación que se

calculan de la siguiente manera.

5 La pérdida constante se calcula determinando de antemano un valor de pérdida a una cierta corriente y multiplicando el valor de pérdida por un coeficiente de aumento de pérdida debido a un aumento de corriente y a un coeficiente de aumento de corriente del dispositivo debido al aumento de corriente. Por otro lado, la pérdida por conmutación se calcula determinando de antemano un valor de pérdida por kilohercio y multiplicándolo por una frecuencia con una consideración adicional de un factor relacionado con el aumento de corriente.

Se mantiene la relación de que una temperatura que se obtiene multiplicando la suma de una pérdida constante calculada de este modo y una pérdida por conmutación por $(T_{\infty} + T3 - T2 + T1)$ es menor o igual que una temperatura dada.

10 Ya que se determina la temperatura dada para el dispositivo de conmutación, determinando una corriente (llamada corriente de referencia) que satisface la relación anterior hace que sea posible aumentar la salida dentro de tal un intervalo que la corriente que fluye a través del dispositivo de conmutación no supera la corriente de referencia.

15 Los resultados que se obtuvieron por el método anterior se describirán a continuación. Las figuras 6A y 6B son diagramas que ilustran unos datos que están almacenados en la unidad de control 14 e indican una relación entre la tasa de operación α y la corriente a 3 kHz y 50 kHz, respectivamente, siendo el tiempo de aplicación de corriente t_p un parámetro. En las figuras 6A y 6B, $t1$ a $t4$, que son valores de t_p , satisfacen una relación de $t1 < t2 < t3 < t4$.

20 En el aparato de conversión de corriente para un tratamiento térmico, en el caso de emitir una corriente de alta frecuencia a la frecuencia de 3 kHz, el valor nominal se determina como se muestra en la figura 6A. La corriente puede aumentarse disminuyendo la tasa de operación α . Para cada uno de los tiempos de aplicación de corriente $t2$ a $t4$, la corriente de salida puede variarse de acuerdo con la tasa de operación. Sin embargo, en el caso del tiempo de aplicación de corriente $t1$, la corriente de salida no puede aumentarse incluso si la tasa de operación disminuye por debajo de un cierto valor.

25 En el caso de emitir una corriente de alta frecuencia a la frecuencia de 50 kHz, el valor nominal se determina como se muestra en la figura 6B. La corriente puede aumentarse disminuyendo la tasa de operación α . Para cada uno de los tiempos de aplicación de corriente $t1$ a $t4$, la corriente de salida puede variarse de acuerdo con la tasa de operación.

En el aparato de conversión de corriente producido de acuerdo con el mismo concepto de diseño como se ha descrito anteriormente, la corriente de salida puede variarse de acuerdo con la frecuencia y puede emitirse más corriente a medida que disminuye la frecuencia.

30 Por lo tanto, en el aparato de conversión de corriente de acuerdo con la realización de la invención, se establece un valor nominal individual para cada frecuencia de salida. Convencionalmente, el valor nominal de un aparato de conversión de corriente de alta frecuencia es el mismo que el valor nominal de un aparato de conversión de corriente de baja frecuencia. Por el contrario, de acuerdo con la realización de la invención, su eficiencia económica puede mejorarse estableciendo un valor nominal grande para una baja frecuencia de acuerdo con el valor nominal del aparato de conversión de corriente. En función de la frecuencia de salida, puede ser necesario reemplazar el rectificador 11, el inversor 13 o la unidad de control 14 o cambiar las constantes de estos componentes. Sin embargo, la frecuencia de oscilación puede cambiarse haciendo tales ajustes finos realizando una conmutación usando un conmutador.

A continuación, se describirá un ejemplo comparativo haciendo referencia a las figuras 7 a 10.

40 La figura 7 es un diagrama que ilustra una configuración de un aparato de conversión de corriente 10A de acuerdo con un ejemplo comparativo. Como se muestra en la figura 7, una fuente de alimentación 31 está acoplada a un lado de entrada del aparato de conversión de corriente 10A, y una carga 32 está acoplada a un lado de salida del aparato de conversión de corriente 10A. El aparato de conversión de corriente 10A incluye una unidad de conversión de corriente 11 y una unidad de control 14A configurada para controlar la unidad de conversión de corriente 20.

45 La unidad de conversión de corriente 20 incluye un módulo 23 que tiene un dispositivo semiconductor de potencia 21 para convertir corriente y una base de metal 22 sobre la que está montado el dispositivo semiconductor de potencia 21, y un disipador de calor 24 dispuesto para ponerse en contacto con la base de metal 22 del disipador de calor 24 para refrigerar el dispositivo semiconductor de potencia 21. En el módulo 23, una capa vasta 25 está intercalada entre el dispositivo semiconductor de potencia 21 y la base de metal 22. El dispositivo semiconductor de potencia 21 en el interior de uno o más módulos 23 forma un convertidor o un inversor de tal manera que la unidad de conversión de corriente 20 produce corriente para emitirse a la carga 32 a través de la conversión. En este caso, el disipador de calor 24 se denomina disipador de calor de refrigeración por agua, y está configurado de tal manera que un tubo 24b a través del que fluye el agua de refrigeración está dispuesto adyacente a una parte de disipación

de calor 24a. Ya que el disipador de calor 24 está en contacto con la base de metal 22, el calor generado por el dispositivo semiconductor de potencia 21 puede transferirse al agua de refrigeración w de manera eficaz.

Una pluralidad de sensores está unida a la unidad de conversión de corriente 20. Un sensor de temperatura 26a mide una temperatura de la base de metal 22. Es preferible que el sensor de temperatura 26a esté insertado en un rebaje formado en la base de metal 22 y dispuesto con el fin de estar en contacto con la base de metal 22. De esta manera, la temperatura de unión puede monitorizarse independientemente de la posición de unión del sensor de temperatura 26a.

Los sensores de temperatura 26b y 26c se proporcionan respectivamente en un lado de flujo de entrada y en un lado de flujo de salida del tubo 24b, y miden la temperatura del agua de refrigeración que fluye en el disipador de calor 24, así como la temperatura del agua de refrigeración que fluye fuera del disipador de calor 24. Un sensor de caudal 26d está unido al tubo 24d para medir el caudal del agua de refrigeración.

La unidad de control 14A obtiene una cantidad de calor que fluye desde el dispositivo semiconductor de potencia 21 al disipador de calor 24 como un aumento de temperatura del agua de refrigeración w de acuerdo con la ecuación (1) que se describirá más tarde, y estima una temperatura de unión inicial del dispositivo semiconductor de potencia 21 a partir del valor real medido por el sensor de temperatura 26a. Además, la unidad de control 14A controla la unidad de conversión de corriente 20 al recibir una instrucción relacionada con la salida desde un puerto de entrada (no mostrado). Cuando la instrucción relacionada con la salida se recibe desde el puerto de entrada mientras la unidad de conversión de corriente 20 está emitiendo corriente, la unidad de control 14A determina si responde a la instrucción realizando el siguiente procesamiento. Más específicamente, tras recibir una instrucción de cambio de salida para aumentar la corriente a emitir desde la unidad de conversión de corriente 20, la unidad de control 14A obtiene una temperatura de unión actualizada del dispositivo semiconductor de potencia 21 correspondiente a la corriente aumentada de la instrucción de cambio de salida. Cuando la unidad de control 14A determina que la temperatura de unión actualizada alcanza una temperatura dada, la unidad de control 14A deja de responder a la instrucción y realiza un control tal que suspende la salida. De esta manera, se evita la destrucción térmica del dispositivo semiconductor de potencia 21.

A continuación, se hará una descripción de cómo la unidad de control 14A estima una temperatura de unión del dispositivo semiconductor de potencia 21 que corresponde a un cambio de la salida en respuesta a la instrucción de cambio de salida. La figura 8 muestra un circuito de resistencia térmica desde el dispositivo semiconductor de potencia 21 al agua de refrigeración a través de la base de metal y el disipador de calor. Hay una resistencia térmica $R_{th}(f-w)$ entre el agua de refrigeración (w) y el disipador de calor (f), una resistencia térmica $R_{th}(c-f)$ entre el disipador de calor (f) y la base de metal (c), una resistencia térmica $R_{th}(j-c)$ entre la base de metal (c) y las uniones (j) del dispositivo semiconductor de potencia.

En primer lugar, en una primera etapa, se estima una temperatura de unión actual (temperatura de unión inicial) del dispositivo semiconductor de potencia 21 antes de cambiar de la salida en respuesta a una instrucción de cambio de salida. En este caso, se supone que el módulo 23 que incluye el dispositivo semiconductor de potencia 21 está unido al disipador de calor 24 y que el calor generado por el dispositivo semiconductor de potencia 21 se transmite al disipador de calor 24 y se disipa por el agua de refrigeración. Al obtener un aumento de temperatura del agua de refrigeración, se mide la corriente del dispositivo semiconductor de potencia 21 debida a la corriente eléctrica que se está aplicando, es decir, una pérdida.

Es decir, una pérdida P se obtiene multiplicando la diferencia entre la temperatura TW (salida) del agua de refrigeración w en el lado de flujo de salida y la temperatura TW (entrada) del agua de refrigeración w en el lado de flujo de entrada por el caudal de acuerdo con la ecuación (1). El coeficiente "70" al final de la ecuación (1) refleja las características del agua de 20 °C como el agua de refrigeración, tal como el calor y la densidad específicos. Los símbolos encerrados entre corchetes [] son unidades. Se supone que solo se monta un módulo 23 en el disipador de calor 24. Cuando se montan una pluralidad de módulos 23 en el disipador de calor 24, puede medirse una temperatura del lado de entrada y una temperatura del lado de salida del agua de refrigeración para cada módulo 23 o el lado izquierdo de la ecuación (1) puede modificarse con el fin de que sea la suma de las pérdidas de los módulos respectivos 23.

$$\text{Pérdida } P \text{ [W]} = \{TW \text{ (salida)} [^{\circ}\text{C}] - TW \text{ (entrada)} [^{\circ}\text{C}]\} \times \text{caudal [L/min]} \times 70 \dots (1)$$

Una temperatura de unión Tj del dispositivo semiconductor de potencia 21 en el circuito de resistencia térmica mostrado en la figura 8 se determina de acuerdo con la ecuación (2) sobre la base de la potencia P que se ha determinado de acuerdo con la ecuación (1):

$$\text{Temperatura de unión } T_j \text{ [}^{\circ}\text{C]} = \text{pérdida } P \times R_{th}(j-c) + \text{temperatura de base de metal [}^{\circ}\text{C]} \dots (2)$$

ES 2 692 808 T3

En la ecuación (2), $R_{th(j-c)}$ se ajusta con un valor de resistencia térmica de catálogo ($^{\circ}C/W$) del dispositivo semiconductor de potencia 21.

La temperatura de unión T_j actual del dispositivo semiconductor de potencia 21 antes de cambiar de la salida en respuesta a una instrucción de cambio de salida se obtiene de acuerdo con la Ecuación (2).

5 Posteriormente, en una segunda etapa, una temperatura de unión (temperatura de unión actualizada) del dispositivo semiconductor de potencia 21 en el momento de cambiar la salida en respuesta a una instrucción de cambio de salida se estima de acuerdo con lo siguiente. A continuación, se realizará una descripción de un método de ejemplo para estimar una temperatura de unión del dispositivo semiconductor de potencia 21 en el momento de aumentar la corriente de salida de I_1 a I_2 en respuesta a una instrucción de cambio de salida.

10 La figura 9 es una gráfica esquemática que muestra los datos que se almacenan en la unidad de control 14 e indica una característica del dispositivo semiconductor de potencia 21. En este ejemplo, el dispositivo semiconductor de potencia 21 es un IGBT. El eje horizontal representa la tensión colector-emisor V_{CE} y el eje vertical representa la corriente de colector I_C . Y la temperatura de unión T_j y la tensión de puerta V_G son parámetros. Es decir, $V_{CE} = f(I_C, T_j, V_G)$. Ya que la tensión de compuerta V_G es constante, la tensión de colector-emisor V_{CE} es una función de la corriente de colector I_C y de la temperatura de unión T_j .

15 Cuando la corriente eléctrica aplicada aumenta de I_1 a I_2 en el dispositivo semiconductor de potencia 21 tiene un valor de temperatura de unión T_{j0} , la curva I_C - V_{CE} varía en función de la temperatura de unión T_j . Por lo tanto, en primer lugar, se usa una curva I_C - V_{CE} correspondiente al valor de temperatura de unión T_{j0} antes del aumento de corriente deseado (valor inicial). Se ve a partir de la curva I_C - V_{CE} correspondiente al valor de temperatura de unión T_{j0} mostrado en la figura 9, que el aumento de corriente de I_1 a I_2 provoca que la tensión colector-emisor V_{CE} aumente a V_2 . Por lo tanto, se produce una pérdida de $I_2 \times V_2$. La temperatura de unión T_{j1} se calcula calculando un aumento de temperatura multiplicando la pérdida de potencia $I_2 \times V_2$ por la resistencia térmica de módulo $R_{th(j-c)}$ y sumando el aumento de temperatura calculado a T_{j0} .

20 Se observa a partir de la curva I_C - V_{CE} correspondiente al valor de temperatura de unión T_{j1} que la tensión colector-emisor V_{CE} se convierte en V_3 a I_2 . Por lo tanto, la pérdida es $I_2 \times V_3$. La temperatura de unión T_{j2} se calcula calculando un aumento de temperatura multiplicando la pérdida de potencia $I_2 \times V_3$ por la resistencia térmica de módulo $R_{th(j-c)}$ y sumando el aumento de temperatura calculado a T_{j0} .

25 Se observa a partir de la curva I_C - V_{CE} correspondiente al valor de temperatura de unión T_{j2} que la tensión colector-emisor V_{CE} se convierte en V_4 a I_2 . Por lo tanto, la pérdida es $I_2 \times V_4$. La temperatura de unión T_{j3} se calcula calculando un aumento de temperatura multiplicando la pérdida de potencia $I_2 \times V_4$ por la resistencia térmica de módulo $R_{th(j-c)}$ y sumando el aumento de temperatura calculado a T_{j0} .

30 A medida que se repite el cálculo anterior, la temperatura de unión calculada aumenta para acercarse a un valor real que se produzca. Como se muestra en la figura 10, el aumento de temperatura de unión de cada cálculo disminuye gradualmente. Y un valor de convergencia se considera la temperatura de unión real T_j del dispositivo semiconductor de potencia 21.

35 Una temperatura de unión que se produzca como resultado del cambio de la corriente puede calcularse repitiendo el cálculo anterior. Que la corriente eléctrica pueda aumentarse, puede determinarse comparando la temperatura de unión calculada T_j y el valor nominal del dispositivo.

40 Considerando que un aumento de la temperatura de unión del dispositivo semiconductor de potencia 21 tarda varios segundos, los cálculos de la primera etapa y de la segunda etapa pueden realizarse por un microcontrolador o similar en un tiempo muy corto que está en el orden de 0,01 a 0,1 segundo. Por lo tanto, no hay problema si estos cálculos se realizan antes de aumentar la temperatura de acuerdo con una instrucción de cambio de salida. Incluso si la salida se cambia de acuerdo con la instrucción de cambio de salida, no hay problema debido a que los cálculos se realizan en el orden de 0,1 segundos o menos.

45 Una temperatura de unión no se calcula con la consideración adicional de la resistencia térmica de contacto $R_{th(c-f)}$ o la resistencia térmica de disipador de calor $R_{th(f-w)}$. Esto permite cálculos más precisos.

La pérdida por conmutación del dispositivo semiconductor de potencia puede calcularse de acuerdo con las siguientes ecuaciones con una suposición de que la tensión y la corriente cambian linealmente:

$$\text{Pérdida de conexión } P = 1/6 \times V \times I \times T_{\text{conexión}}/T$$

50
$$\text{Pérdida de desconexión } P = 1/6 \times V \times I \times T_{\text{desconexión}}/T$$

donde $T_{\text{conexión}}$ es el tiempo de conexión y $T_{\text{desconexión}}$ es el tiempo de desconexión y T es el ciclo.

Por lo tanto, una pérdida total P puede calcularse como la suma de una pérdida por conmutación y una pérdida constante.

5 De acuerdo con la realización de la invención, puede evitarse dañar el dispositivo semiconductor de potencia determinando un aumento de la tensión colector-emisor V_{CE} debido al envejecimiento del dispositivo semiconductor de potencia basándose en la cantidad de calor que se obtiene a partir de un aumento de temperatura del agua de refrigeración. Además, también puede tenerse en cuenta el deterioro del rendimiento de refrigeración del disipador de calor debido a su envejecimiento.

10 En el aparato de conversión de corriente de acuerdo con la realización de la invención, ya que se obtiene una pérdida del dispositivo semiconductor de potencia 21 basándose en el aumento de temperatura del agua de refrigeración, la precisión de la pérdida calculada depende de la diferencia entre las temperaturas detectadas por los sensores de temperatura 26b, 26c y un caudal del agua de refrigeración. Por lo tanto, la presente realización se aplica a un aparato de conversión de corriente que tiene una potencia de salida de aproximadamente 100 kW o más.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de conversión de corriente (10) para un tratamiento térmico que comprende:

un rectificador (11) configurado para convertir la corriente alterna en corriente continua;
 un filtro de regulación (12) configurado para controlar la corriente continua recibida desde el rectificador (11) para
 5 que sea constante;
 un inversor (13) configurado para convertir la corriente continua recibida desde el filtro de regulación (12) en
 corriente de alta frecuencia conectando y desconectando la corriente continua usando un dispositivo de
 conmutación; y
 una unidad de control (14) configurada para controlar el rectificador (11) y el inversor (13),
 10 **caracterizado por que** la unidad de control (14) está configurada para determinar un valor nominal de la
 corriente de salida del inversor (13) de acuerdo con una frecuencia de la salida de corriente de alta frecuencia del
 inversor (13), un tiempo de aplicación de corriente y una tasa de operación obtenida dividiendo el tiempo de
 aplicación de corriente por una suma del tiempo de aplicación de corriente y un tiempo de no aplicación de
 15 dada, en el que el tiempo de aplicación de corriente es un tiempo durante el que la corriente de alta frecuencia se
 emite desde el inversor (13).

2. El aparato de conversión de corriente de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la unidad de control (14) tiene
 unos datos que definen una relación entre una frecuencia del dispositivo de conmutación, el tiempo de aplicación de
 corriente, la tasa de operación y la corriente de salida a una temperatura a la que puede operarse el dispositivo de
 20 conmutación, y cuando se dan el tiempo de aplicación de corriente y la tasa de operación, la unidad de control (14)
 calcula una corriente máxima permisible basándose en los datos y suspende o controla la corriente de salida.

3. Un método de conversión de corriente para el tratamiento térmico, comprendiendo el método de conversión de
 corriente:

convertir la corriente alterna en corriente continua; y
 25 convertir la corriente continua en corriente de alta frecuencia conectando y desconectando la corriente continua
 usando un inversor que comprende un dispositivo de conmutación,
caracterizado por que comprende además calcular un valor nominal de la corriente de salida del inversor de
 acuerdo con una salida de corriente de alta frecuencia del inversor, un tiempo de aplicación de corriente y una
 tasa de operación obtenida dividiendo el tiempo de aplicación de corriente por una suma del tiempo de aplicación
 30 de corriente y el tiempo de no aplicación de corriente, de tal manera que la temperatura de unión del dispositivo
 de conmutación no supere una temperatura dada, en el que el tiempo de aplicación de corriente es un tiempo
 durante el que se emite una corriente de alta frecuencia desde el inversor (13).

4. El método de conversión de corriente de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la corriente de salida máxima
 aumenta hasta que un límite superior de la temperatura de unión del dispositivo de conmutación alcanza una
 35 temperatura nominal del dispositivo de conmutación, obteniéndose la temperatura de unión a partir de una diferencia
 entre un aumento de temperatura debido a una pérdida del dispositivo de conmutación y una disminución de
 temperatura debido a la refrigeración del dispositivo de conmutación.

5. El método de conversión de corriente para un tratamiento térmico de acuerdo con la reivindicación 4, en el que la
 pérdida del dispositivo de conmutación se determina basándose en la suma de una pérdida de conducción del
 40 dispositivo de conmutación y una pérdida por conmutación del dispositivo de conmutación.

FIG. 1

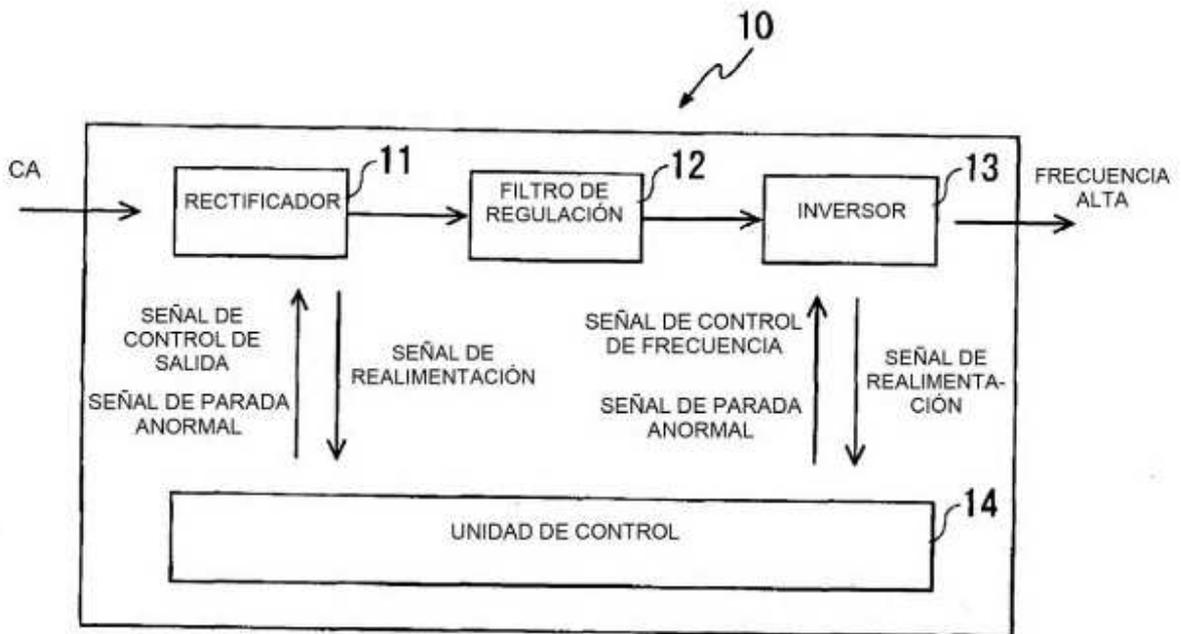


FIG. 2

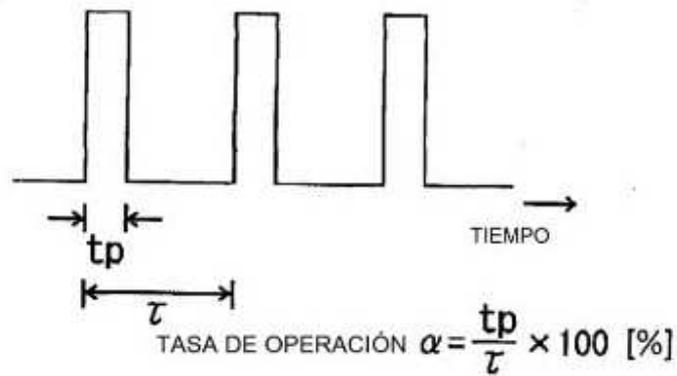


FIG. 3

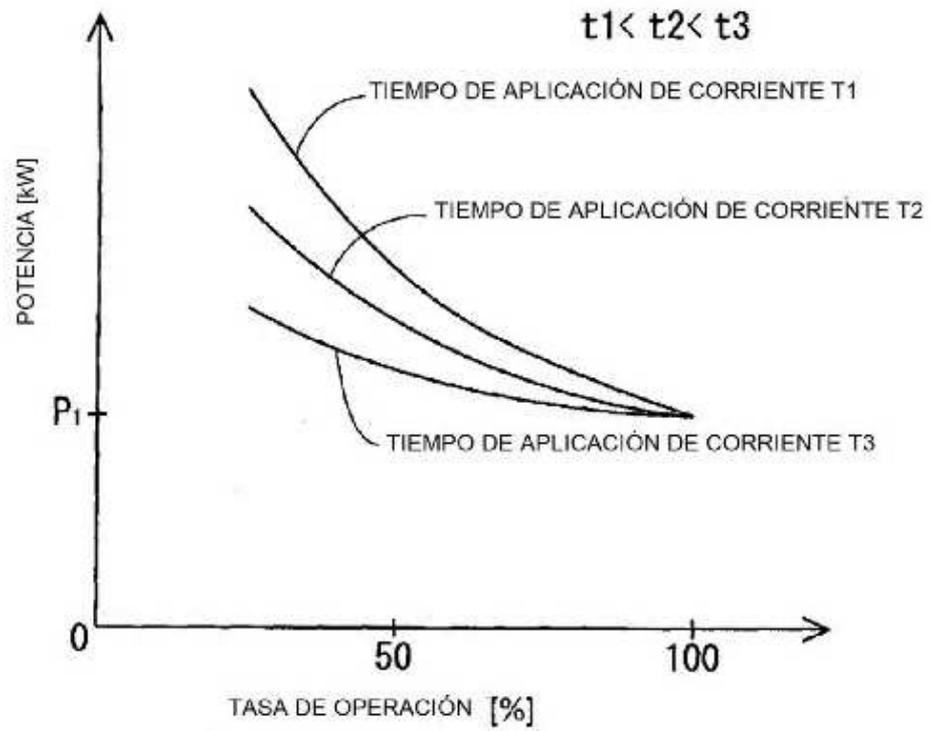


FIG. 4A

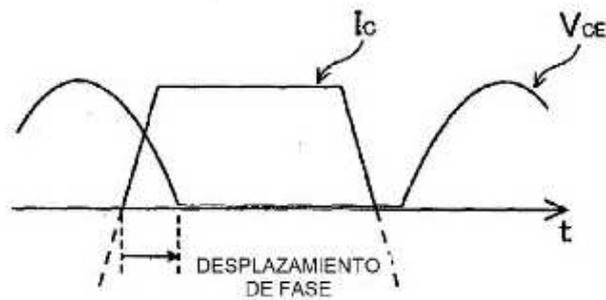


FIG. 4B

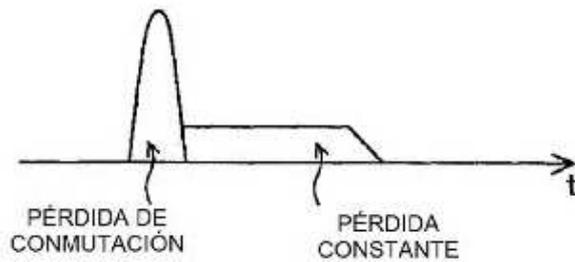


FIG. 5A

FORMA DE ONDA DE PÉRDIDA DE POTENCIA

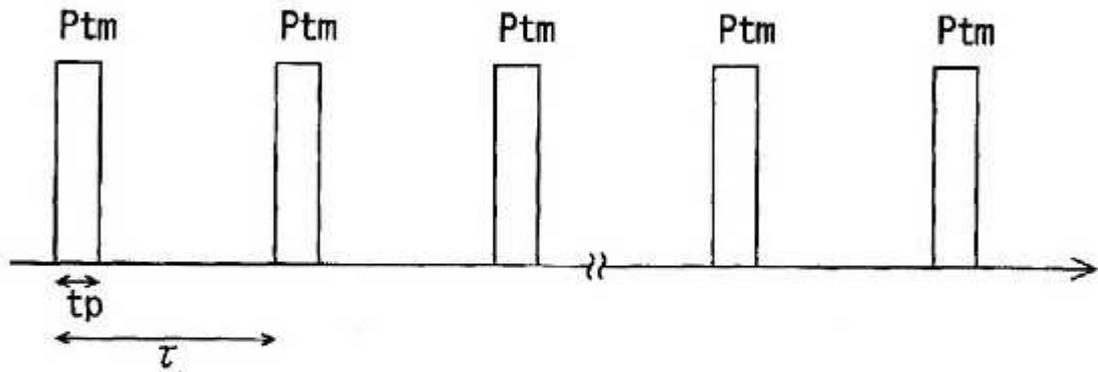


FIG. 5B

APROXIMACIÓN DE PÉRDIDA DE POTENCIA (PROMEDIO)

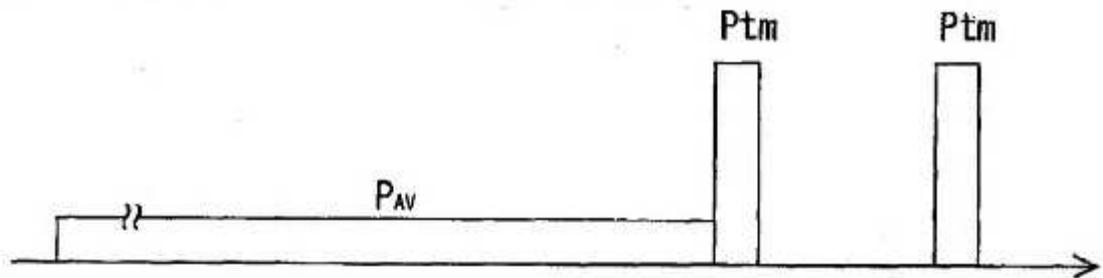


FIG. 5C

APLICACIÓN DEL PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN (PÉRDIDA DE POTENCIA)

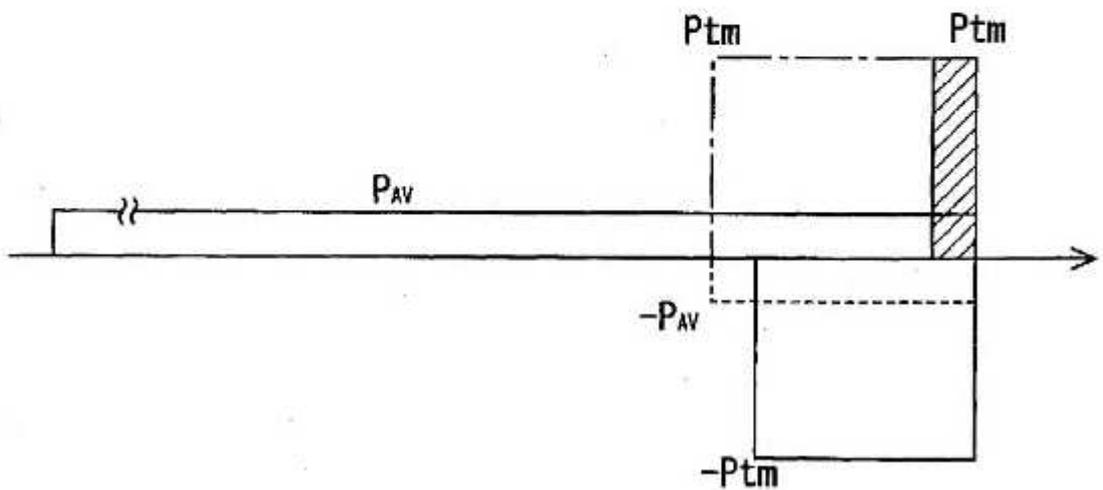


FIG. 6A

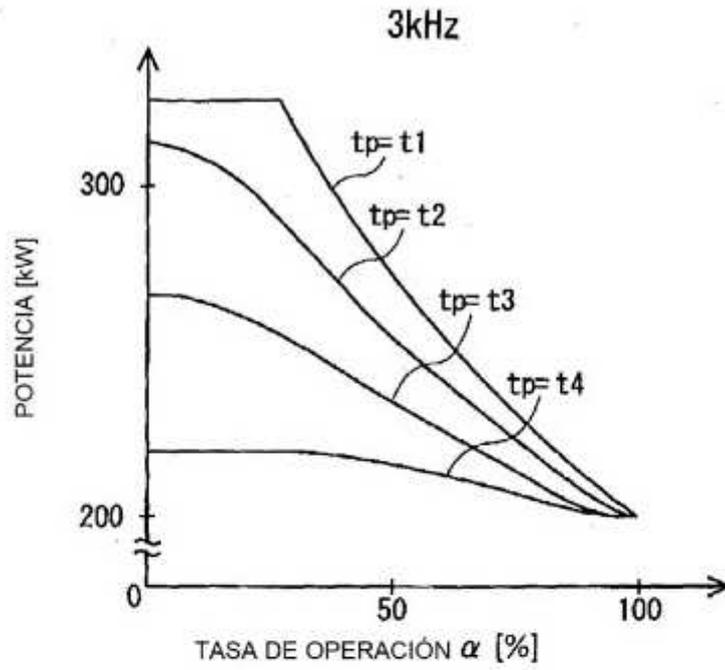


FIG. 6B

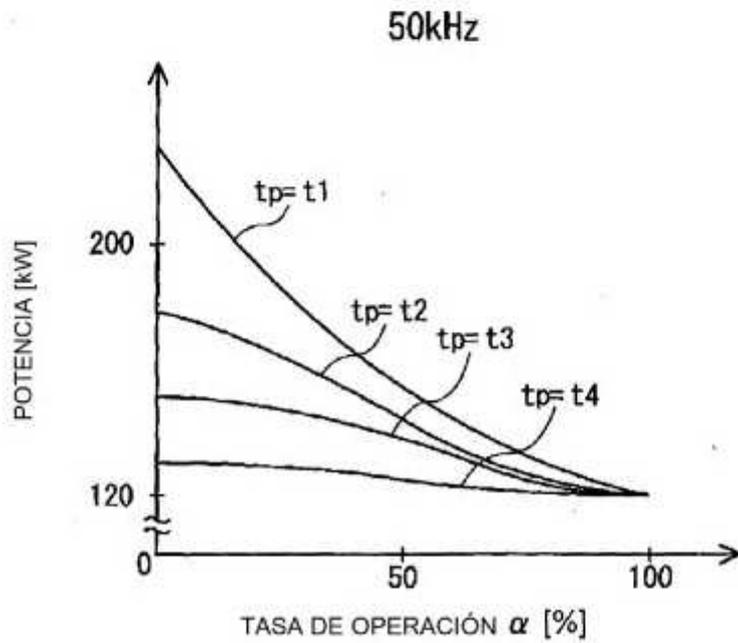


FIG. 7

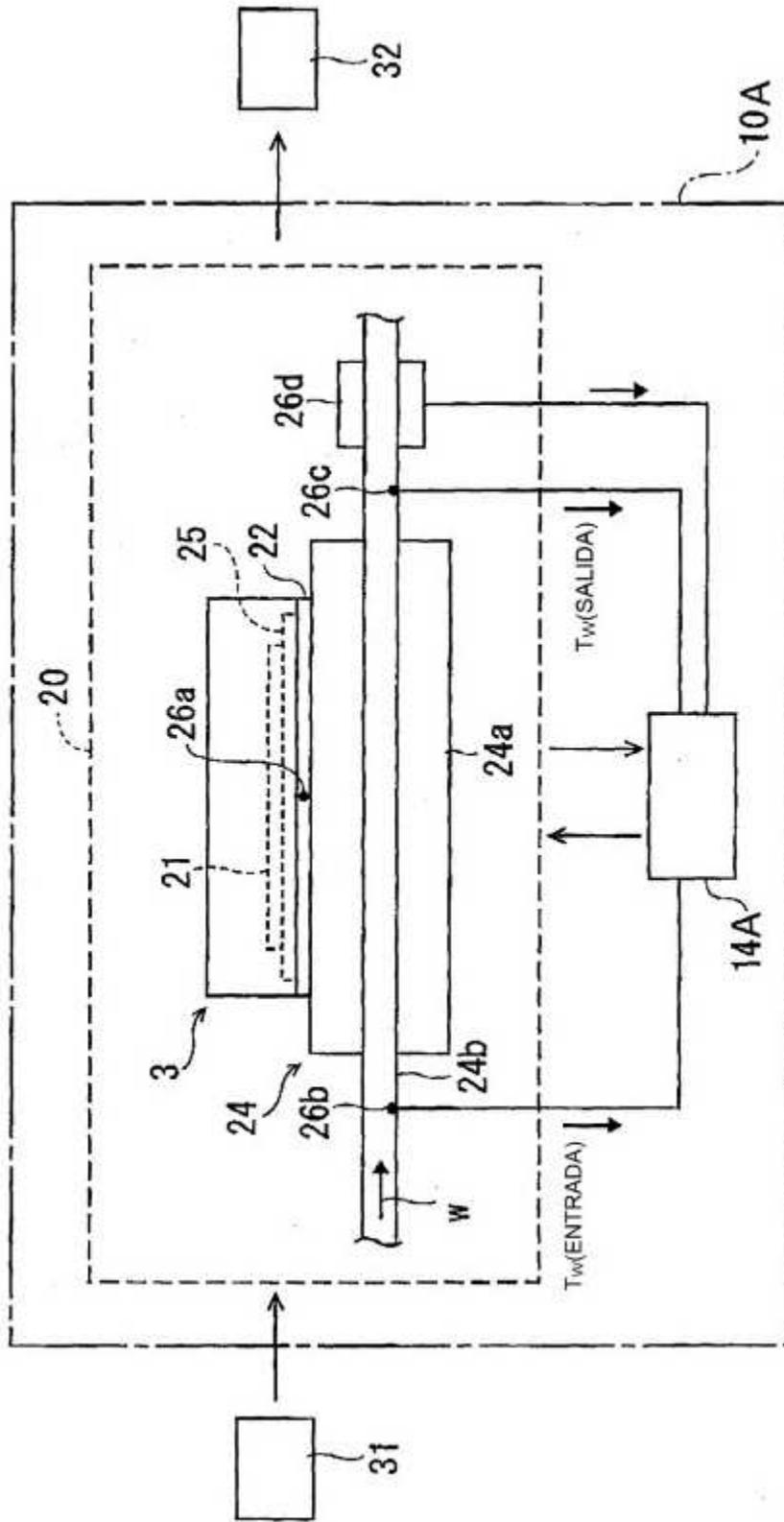


FIG. 8

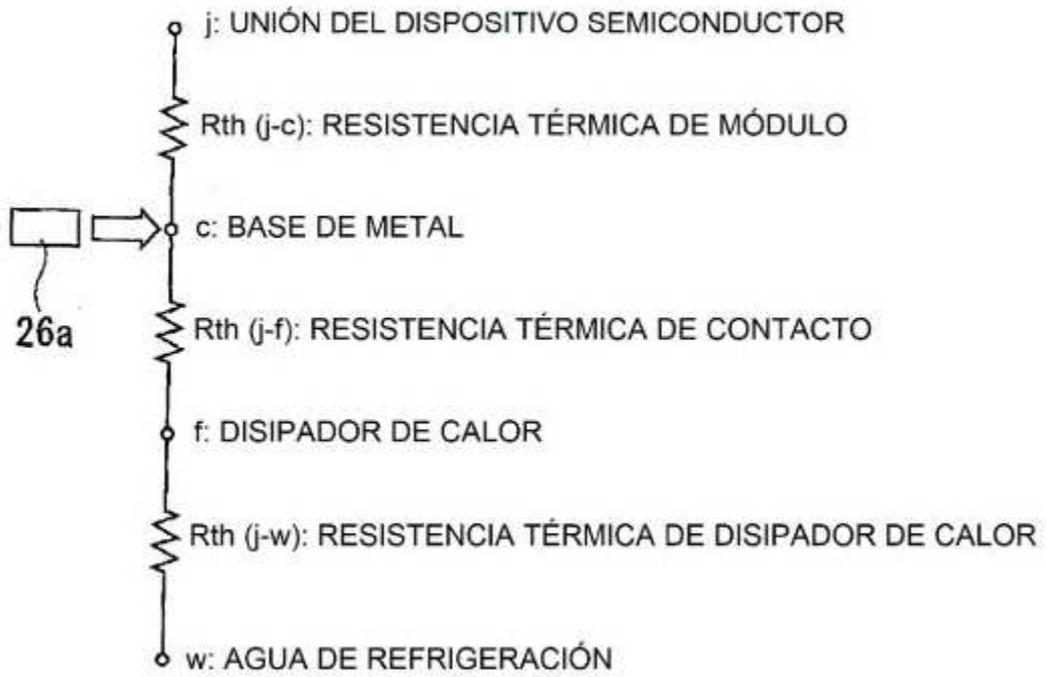


FIG. 9

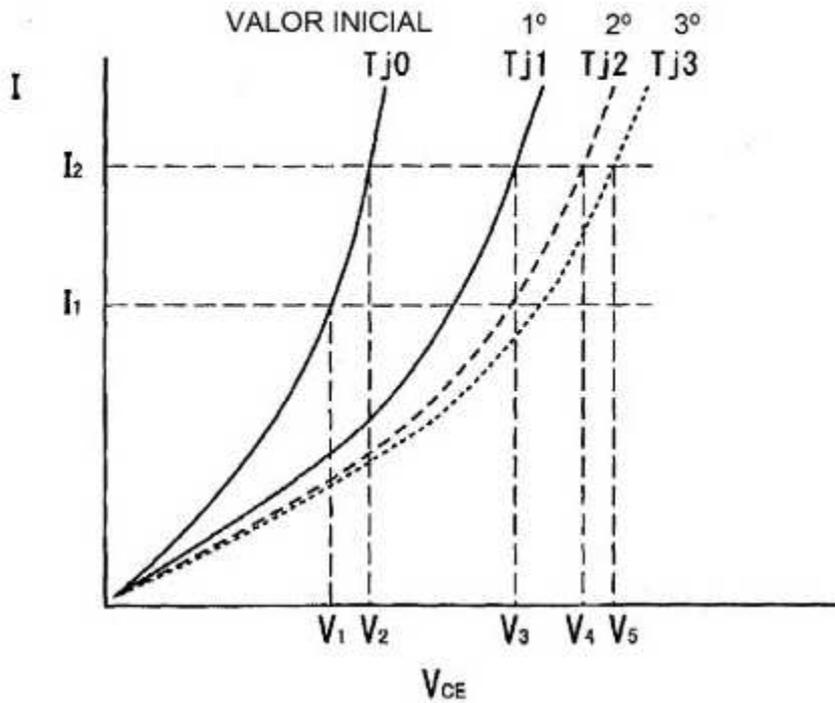


FIG. 10

