

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 547**

51 Int. Cl.:

H05B 7/18 (2006.01)

B23K 9/073 (2006.01)

H05H 1/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.09.2015 PCT/EP2015/072084**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.04.2016 WO16050627**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.09.2015 E 15767523 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.05.2018 EP 3202234**

54 Título: **Fuente de alimentación para calentador de gas por arco eléctrico**

30 Prioridad:

01.10.2014 EP 14187236

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

26.09.2018

73 Titular/es:

**UMICORE (100.0%)
Rue du Marais 31
1000 Brussels, BE**

72 Inventor/es:

**OSTERMEYER, JOHN y
HEULENS, JEROEN**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 683 547 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

Fuente de alimentación para calentador de gas por arco eléctrico

5 Esta invención se refiere a las fuentes de alimentación de CC adecuadas para calentadores de gas de arco eléctrico, tales como los sopletes de plasma. Especialmente se refiere al dimensionamiento del inductor en un convertidor de CC a CC conmutado utilizado para alimentar los sopletes.

10 Los calentadores de gas de arco eléctrico son herramientas potentes para calentar prácticamente cualquier tipo de gas hasta temperaturas extremas. Existen muchas descripciones disponibles actualmente para dichos dispositivos, p. ej. en "Electric Arcs and Arc Gas Heaters", E. Pfender, Capítulo 5, Gaseous Electronics. En numerosas aplicaciones industriales, se reconoce el elevado potencial de los gases calentados hasta alcanzar el estado de plasma. Los ejemplos son: pulverización y recubrimiento en polvo, producción de nanopulvos, metalurgia extractiva, ingeniería aeroespacial, etc.

15 En los calentadores de gas de arco eléctrico, también conocidos como sopletes de plasma, se introduce un gas a través de una abertura de entrada hacia una cámara de circulación continua en la que se mantiene un arco eléctrico. El gas se calienta hasta temperaturas extremas y se expulsa como plasma a través de una abertura de salida. El arco se genera y se mantiene mediante una fuente de alimentación eléctrica conectada a un ánodo y a un cátodo, ambos localizados dentro de la cámara de circulación continua del gas. El arco permanece confinado dentro de la cámara y, por consiguiente, se dice que es no transferido. Ejemplos de dichos calentadores de gas de arco se muestran en US-4.543.470 o WO 91/18488. Lograr una operación de elevada energía implica la combinación de voltajes y corrientes elevados del arco. La operación de alto voltaje puede conseguirse mediante la prolongación del arco. Los arcos más largos pueden obtenerse forzando el arco a través de una zona con vórtice estabilizado y aislada eléctricamente entre los electrodos. Este tipo de calentador de gas se denomina "segmentado" o "focalizado". Según la práctica actual, la corriente máxima admisible está limitada ya que la erosión del electrodo puede resultar excesiva.

20 Los arcos no transferidos se alimentan en la mayoría de los casos con corriente directa (CC); el uso de corriente alterna (CA) produce de hecho una operación menos estable debido a la interrupción repetida del arco en cada cruce cero del ciclo de CA.

30 Un arco eléctrico tiene una característica única de U-I (voltaje-corriente) en la que el voltaje del arco disminuye con el aumento de la corriente de arco. Esto corresponde a una resistencia diferencial negativa que plantea dificultades de regulación a la fuente de alimentación de CC. Estas dificultades se describen bien en la obra "Electrical And Mechanical Technology of Plasma Generation and Control", P. Mogensen y J. Thörnblom, Capítulo 6, Plasma Technology in Metallurgical Processing.

35 Aunque podría usarse, teóricamente, una resistencia de balasto en serie con una fuente de voltaje CC para estabilizar el punto operativo del arco, las pérdidas óhmicas en la resistencia serían excesivas.

40 Una primera solución a este problema ha sido combinar rectificadores controlados de silicio con un inductor de balasto en serie con el soplete. El papel del inductor es estabilizar la corriente a la carga entre acciones sucesivas del regulador. Los rectificadores se controlan para mantener una corriente constante a través de la carga. Sin embargo, la latencia de regulación electrónica es muy significativa, ya que la frecuencia de conmutación es un múltiplo pequeño (de forma típica 6 o 12) de la frecuencia de la red, y por tanto limitada a unos pocos cientos de Hz. Por consiguiente, es necesario una gran inductancia.

50 Un intento teórico de diseñar una fuente de alimentación de CC multimegavatio para la operación del soplete de plasma según el principio anterior se da en la obra "A study on medium voltage power conversion system for plasma torch", Y. Suh, Power Electronics Specialists Conference, IEEE, 2008. En la presente memoria, se reconoce que el tamaño del inductor es inversamente proporcional a la frecuencia de conmutación de la unidad de rectificación.

55 Un enfoque más moderno es el uso de una fuente de alimentación de CC actual que comprende una unidad de rectificación seguida de un convertidor de conmutación de CC a CC. Dichos conmutadores pueden funcionar a frecuencias relativamente más altas tales como 2 kHz, incluso aunque estén diseñados para potencias elevadas en el rango de megavatios. El convertidor CC-CC se regula para comportarse como un suministro de corriente constante. Para este fin, se utiliza un recortador modulado en anchura de impulsos, siendo adaptado continuamente el ancho del impulso por un controlador de realimentación que compara la corriente instantánea del soplete con un punto de ajuste. Un convertidor de CC a CC también proporciona aislamiento entre los impulsos del recortador y la red eléctrica, resolviendo la mayoría de los problemas de factor de potencia y contaminación de la red típicos de los rectificadores controlados de silicio.

60 Este tipo de realización se ilustra, p. ej. en US-5.349.605.

65 El papel del inductor es más importante para asegurar la operación estable de un soplete. Tal como se describe en la obra anteriormente mencionada "Electrical And Mechanical Technology of Plasma Generation and Control", P. Mogensen y J. Thörnblom, Capítulo 6, Plasma Technology in Metallurgical Processing, el tamaño de la inductancia de salida se determina por tres factores principales: (1) limitar el ritmo de aumento de corriente

después de la ignición del arco eléctrico a lo que el bucle de control pueda manejar, (2) proporcionar un efecto de suavizado para reducir la ondulación de corriente producida por los dispositivos de conmutación en la fuente de alimentación, y, (3) proporcionar una corriente ininterrumpida durante el arranque del soplete de plasma.

5 Aunque el tamaño del inductor de balasto determina si una topología específica de fuente de alimentación es capaz de estabilizar el arco eléctrico en un soplete de plasma, no hay referencias disponibles en la técnica anterior para derivar una inductancia adecuada para una instalación específica. De hecho, se enseñan inductores "suficientemente grandes", lo que, en la práctica significa que estos inductores están generalmente sobredimensionados. Sin embargo, dicho inductor se lleva una parte sustancial de la inversión de una fuente de alimentación CC multimegavatio, ya que un generador de plasma puede funcionar a varios miles de amperios. De hecho, los costes del inductor aumentan con la inductancia y con la corriente máxima.

10 Según la presente invención, la inductancia debe elegirse dentro de un cierto intervalo. Es necesario que el límite inferior cumpla el criterio de estabilidad del circuito de retroalimentación de corriente. El límite superior está determinado por una necesidad de una cierta ondulación de corriente mínima. Esta ondulación es deseable porque tiende a variar periódicamente la longitud del arco ligeramente, extendiendo de este modo la zona de erosión en los electrodos. Esta extensión del desgaste permite una operación con mayor corriente.

15 En contraposición a las reglas de diseño de las fuentes de alimentación CC-CC convencionales, la inductancia mínima necesaria no está, en este caso, dictada por la corriente mínima y por el deseo de mantener la fuente de alimentación en modo continuo. De hecho, los sopletes industriales están destinados a funcionar únicamente dentro de un intervalo limitado de corrientes relativamente elevadas.

20 La invención se refiere en particular a una fuente de alimentación CC para accionar un calentador de gas por arco eléctrico no transferido, que comprende: un rectificador de CA a CC que proporciona un potencial U_0 ; un convertidor de conmutación CC a CC que tiene una frecuencia de conmutación f_s ; un circuito de control de corriente que tiene una latencia τ , y, un inductor de balasto que tiene una inductancia L; caracterizada por que la inductancia L es tal que

$$L > \left(\frac{U_0}{1500} \right) \tau, \text{ y } L < \frac{1}{f_s} \left(\frac{U_0}{200} \right).$$

25 En otra realización, la invención se refiere a un método para operar un calentador de gas por arco eléctrico no transferido, caracterizado porque el calentador se alimenta con una corriente de más de 500 A RMS; la corriente que comprende un componente CC y un componente CA, el componente CA que tiene una amplitud de pico a pico entre 50 A y 20 % del componente CC y, preferiblemente, entre 50 A y 10 % del componente CC.

30 El convertidor CC a CC es preferiblemente un convertidor reductor.

35 Con respecto a las aplicaciones industriales, el potencial U_0 suministrado por el rectificador CA a CC debe preferiblemente ser superior a 3000 V y la potencia suministrada a la carga estar entre 1 a 10 MW. Dicha fuente de alimentación está especialmente adaptada para alimentar un soplete de plasma segmentado no transferido con electrodos huecos.

40 U_0 significa el voltaje de salida cargado (en voltios) del rectificador de CA a CC. Aunque este voltaje debe ser lo suficientemente alto como para proporcionar suficiente potencial para mantener el arco eléctrico en todas las condiciones, también aumenta el tamaño mínimo requerido del inductor de balasto.

45 Por frecuencia de conmutación f_s se entiende la frecuencia (en hercios) del recortador modulado en anchura de impulsos utilizado para regular la corriente a la carga.

50 Por latencia τ del bucle de control se entiende el intervalo de tiempo (en segundos) entre el muestreo de la corriente y la posterior acción de control. En el caso de un regulador digital, incluye el muestreo y promediación de la corriente, el tiempo de conversión A/C, y los cálculos del bucle de control. La latencia incluye el retardo impuesto por el modulador de ancho de pulso que es parte de la unidad de conversión de CC a CC. Una latencia corta generalmente es beneficiosa, permitiendo el uso de una inductancia del balasto menor.

55 Hemos descubierto que para un calentador de gas por arco eléctrico no segmentado, no transferido de alta potencia, el inductor de balasto debe tener una inductancia L (en henrios) de más de

$$\left(\frac{U_0}{1500} \right) \tau.$$

60 El arco eléctrico dentro de un soplete de plasma es especialmente inestable en una escala de tiempo de aproximadamente 10 a 100 μ s. Dentro de esta escala de tiempo, las raíces del arco eléctrico pueden moverse estocásticamente en las superficies del electrodo. Una corriente variable mejorará aún más la oscilación de las

raíces, distribuyendo así el desgaste del electrodo y aumentando la vida útil del electrodo. Según la invención, se hace uso de la ondulación de corriente generada en el recortador para potenciar este efecto.

5 En un convertidor de conmutación de CC a CC, la ondulación es máxima cuando el ciclo de trabajo del recortador alcanza 50 %. En este caso particular, la ondulación puede expresarse como

$$\Delta I = \frac{U_0}{4f_s L}$$

10 Despreciando los efectos secundarios, la ondulación varía como D (1 - D), siendo D el ciclo de trabajo de los impulsos del recortador.

15 Usando CC convencional bien filtrada, hemos aprendido que a corrientes medias por encima de 500 A, el desgaste del electrodo pasa a ser demasiado alto para fines industriales. Por otra parte, la erosión del electrodo está sorprendentemente bien distribuida si se superpone 50 A pico a pico de ondulación de corriente. Esto permite alcanzar corrientes medias entre 500 y 2000 A, mientras se evita la erosión prematura del electrodo. Esto contrasta con las fuentes de alimentación clásicas, diseñadas para suministrar una salida de corriente constante y limpia con una ondulación baja. La restricción en el inductor de balasto, asumiendo un ciclo de trabajo típico de 50 %, y una corriente de ondulación de al menos 50 A, puede determinarse como

20

$$L < \frac{1}{f_s} \left(\frac{U_0}{200} \right).$$

Esta ecuación permanece válida en la práctica para los ciclos de trabajo entre 20 y 80 %, es decir, en todo el intervalo de condiciones de operación prácticas para el plasma industrial de alta potencia.

25 La Figura 1 ilustra la invención. Se muestran:

- (1) el rectificador de CA a CC produciendo un voltaje de CC de U_0 ,
- (2) el recortador modulado en anchura de impulsos, que opera en la frecuencia f_s ;
- (3) el inductor de balasto con inductancia L ;
- 30 (4) el diodo de transferencia inversa, parte de la topología del convertidor reductor;
- (5) el sensor que informa de la corriente instantánea del soplete;
- (6) la corriente objetivo del soplete o el punto de ajuste;
- (7) el regulador de corriente, comparando la corriente instantánea del soplete con el punto de ajuste;
- (8) la unidad que activa la modulación de anchura del impulso del recortador, según la salida del regulador;
- 35 (9) el soplete de plasma.

40 El siguiente ejemplo ilustra un aparato según la invención. Una fuente de alimentación de 4 MW comprende una unidad de rectificación que proporciona un voltaje bajo una carga nominal de 3000 V (U_0), y una unidad recortadora provista de dispositivos de conmutación IGBT que operan a 2 kHz (f_s).

45 Se coloca un inductor de balasto en serie con un calentador por arco eléctrico con una potencia nominal de 2,5 MW. La corriente a la carga se mide utilizando una sonda de Hall y el valor se alimenta a un regulador PID. Se elige un punto de ajuste de corriente de 1000 A, el cual, para este soplete en particular corresponde a un potencial de aproximadamente 1450 V. El ciclo de trabajo (D) del recortador es por tanto de aproximadamente 48 %.

El regulador PID digital induce un retardo de 1 ms, y el recortador añade un retardo medio adicional de 0,5 ms. Por lo tanto, se considera una latencia del bucle de control de 1,5 ms (τ). Según la invención, se necesita una inductancia mínima de 3 mH para asegurar la estabilidad del bucle de control.

50 La inductancia máxima se calcula según la invención como 7,5 mH. De hecho, esto asegura la ondulación de corriente de pico a pico objetivo de 50 A.

55 Para maximizar la vida útil del electrodo y la robustez de la fuente de alimentación, se elige un valor de 4 mH para esta instalación específica.

REIVINDICACIONES

1. Una fuente de alimentación CC para accionar un calentador (9) de gas por arco eléctrico no transferido, que comprende:

- un rectificador (1) de CA a CC que proporciona un potencial U_0 ;
- un convertidor (2, 3, 4) de conmutación de CC a CC que tiene una frecuencia de conmutación f_s ;
- un bucle (5, 6, 7, 8) de control de corriente latencia τ , y,
- un inductor (3) de balasto que tiene una inductancia L;

caracterizado porque la inductancia L es tal que

$$L > \left(\frac{U_0}{1500} \right) \tau, \text{ y } L < \frac{1}{f_s} \left(\frac{U_0}{200} \right).$$

2. Una fuente de alimentación CC según la reivindicación 1, **caracterizada por que** el convertidor (2, 3, 4) de CC a CC es un convertidor reductor.

3. Una fuente de alimentación CC según la reivindicación 1 o 2, **caracterizada por que** $U_0 > 3000$ V.

4. Una fuente de alimentación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada por que** la energía enviada al calentador (9) de gas se encuentra entre 1 y 10 MW.

5. Una fuente de alimentación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada por que** el calentador (9) de gas eléctrico es un soplete de plasma segmentado no transferido con electrodos huecos.

6. Método para operar un calentador de gas por arco eléctrico no transferido usando una fuente de alimentación CC según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** el calentador (9) se alimenta con una corriente de más de 500 A RMS, la corriente comprende un componente CC y un componente CA, teniendo el componente CA una amplitud de pico a pico entre 50 A y 20 % del componente CC.

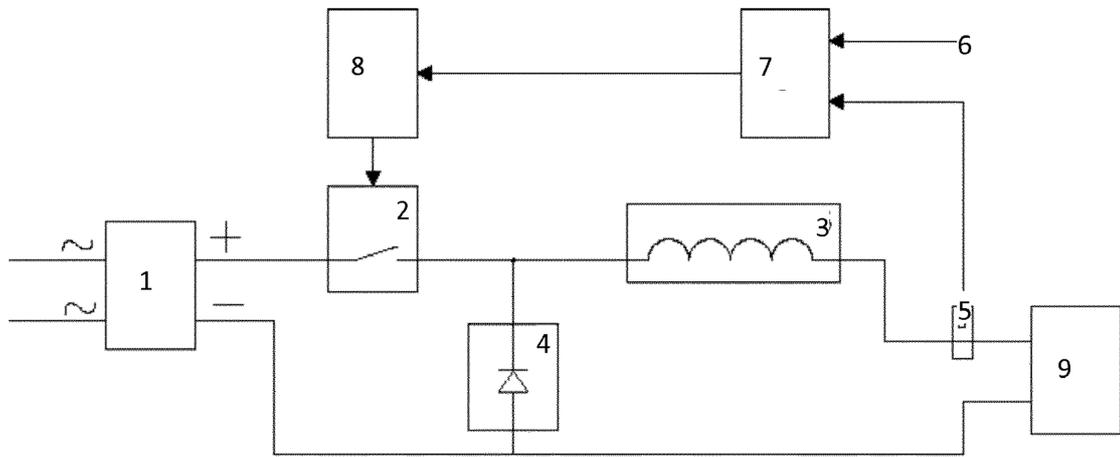


Fig. 1