

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 012**

51 Int. Cl.:

H01J 37/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.04.2012 PCT/FR2012/050903**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.11.2012 WO12146870**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.04.2012 E 12724152 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.02.2017 EP 2702604**

54 Título: **Procedimiento de tratamiento por microondas de una carga**

30 Prioridad:

27.04.2011 FR 1153587

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

21.07.2017

73 Titular/es:

**SAIREM SOCIETE POUR L'APPLICATION
INDUSTRIELLE DE LA RECHERCHE EN
ELECTRONIQUE ET MICRO ONDES (100.0%)
12 Porte du Grand Lyon
01700 Neyron, FR**

72 Inventor/es:

**GRANDEMENGE, ADRIEN;
JACOMINO, JEAN-MARIE;
RADIOU, MARILENA y
LATRASSE, LOUIS**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 626 012 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

Procedimiento de tratamiento por microondas de una carga.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de tratamiento por microondas de una carga.

10 El objeto de la invención se sitúa en el campo del tratamiento por microondas que consiste en tratar una carga que absorbe microondas mediante la aplicación sobre la misma de una onda electromagnética en el campo de las microondas; pudiendo esta carga estar constituida por un producto líquido, sólido o gaseoso que presenta unas características dieléctricas que le permiten absorber la totalidad o parte de la onda, como por ejemplo una suspensión acuosa, un producto agroalimentario o químico, un gas plasmágeno, etc., pudiendo una carga de este tipo estar contenida en el interior de una cámara de tratamiento.

15 Una primera aplicación se refiere a los tratamientos por microondas mediante producción, en una cámara de tratamiento, de un plasma excitado por una radiación de microondas para diversas aplicaciones, como por ejemplo y a modo no limitativo, las aplicaciones de tratamiento de superficie, como grabado o deposición de capas de material, en particular de diamante, tratamiento químico o termoquímico, pulverización, descontaminación, esterilización, limpieza, nitruración, implantación iónica, desinfección, etc.

20 Una segunda aplicación se refiere a los tratamientos por microondas mediante calentamiento de una carga que absorbe la radiación de microondas, en particular en los campos de la industria química, médica o agroalimentaria.

25 La divulgación se refiere, más particularmente, a una instalación de tratamiento por microondas de una carga, que comprende:

- por lo menos un dispositivo de aplicación de una onda electromagnética en el campo de las microondas;
- 30 - por lo menos un generador de onda electromagnética en el campo de las microondas, conectado a por lo menos un dispositivo de aplicación mediante unos medios de guiado de la onda electromagnética.

35 Una primera aplicación de la presente divulgación es permitir el control de la potencia reflejada en el o en cada dispositivo de aplicación, preferentemente para garantizar la adaptación de impedancia en el o en cada dispositivo de aplicación mediante anulación o incluso minimización de la potencia reflejada en el o en cada dispositivo de aplicación.

40 Una segunda aplicación de la presente divulgación es permitir el control de la potencia transmitida por el o por cada dispositivo de aplicación, preferentemente para distribuir de manera equitativa la potencia transmitida entre los diferentes dispositivos de aplicación con el fin obtener en una zona de tratamiento dada, por ejemplo a una distancia determinada de las paredes de la cámara de tratamiento, una densidad de potencia sustancialmente uniforme. En el caso de una instalación de tratamiento por microondas mediante producción de un plasma, en efecto es interesante obtener un plasma sustancialmente uniforme que presenta una densidad de potencia sustancialmente uniforme.

45 En el caso de una instalación de tratamiento por microondas mediante producción de un plasma en resonancia ciclotrónica electrónica (RCE), una tercera aplicación de la presente divulgación es permitir el control de la superficie de resonancia cerca del o de cada dispositivo de aplicación, y por tanto el control de la superficie de creación del plasma cerca del dispositivo de aplicación en cuestión, en el caso particular de un plasma.

50 Las figuras 1 y 2 ilustran una instalación 9 habitual de tratamiento por microondas mediante producción de un plasma, conocida en particular a partir del documento WO 01/20710 A1, que comprende:

- 55 - un reactor 99 que comprende una cámara de tratamiento 90 (o cámara de plasma) en cuyo volumen se produce el plasma;
- varias fuentes elementales 91 de plasma que comprenden cada una un dispositivo de aplicación 92 en el interior de la cámara de tratamiento 90 de una onda electromagnética en el campo de las microondas; y
- 60 - un generador 93 de onda electromagnética en el campo de las microondas, conectado a los dispositivos de aplicación 92 mediante unos medios de guiado 94 de la onda electromagnética.

65 En funcionamiento, el generador 93, habitualmente del tipo magnetrón, produce una onda electromagnética a una frecuencia fija en el campo de las microondas. Por ejemplo, un magnetrón 93 permite proporcionar una

potencia de microondas que puede variar de 0 a 2 kW a una frecuencia fija de 2,45 GHz.

La onda electromagnética suministrada por el magnetrón 93 es enviada hacia un divisor de potencia 95 diseñado para dividir la potencia de microondas entre el número k de dispositivos de aplicación 92, generalmente entre 2, 4, 8, 10, 12, etc. En el ejemplo de la figura 2, el número k de dispositivos de aplicación 92 es igual a 12.

Generalmente, el divisor de potencia 95 está constituido por una guía de ondas rectangular en la que se implantan k antenas que extraen cada una $1/k$ de la potencia total suministrada por el magnetrón 93. En esta construcción del divisor de potencia 95, las antenas están dispuestas en la guía, en la que se establecen unas ondas estacionarias, en el interior del campo electromagnético. Esta tecnología es eficaz en la medida en que cada fuente elemental 91 de plasma se comporta como una impedancia adaptada, dicho de otro modo, la potencia reflejada en cada dispositivo de aplicación 92 es sustancialmente nula de manera que cada fuente elemental 91 transmite sin pérdidas la totalidad de la potencia extraída por la antena correspondiente.

La potencia extraída por cada antena es transmitida a continuación por un medio de guiado 94, habitualmente del tipo cable coaxial, independiente a uno de los dispositivos de aplicación 92 a través de un circulador 96 equipado con una carga de agua adaptada colocada en la salida del divisor de potencia 95. Este circulador 96 deja pasar la potencia extraída por cada antena del divisor de potencia hacia los dispositivos de aplicación 92, pero por el contrario impide que la potencia reflejada vaya del dispositivo de aplicación 92 a la antena redirigiendo la potencia reflejada a una carga, en este caso la carga de agua.

Los cables coaxiales 94 transmiten la potencia a los dispositivos de aplicación 92, habitualmente denominados aplicadores, a través de un adaptador de impedancia 97, o sintonizador, colocado justo delante del aplicador 92 correspondiente. El ajuste de impedancia entre el plasma confinado en la cámara de tratamiento 90 y cada fuente elemental 91 de plasma se realiza manipulando manualmente el adaptador de impedancia 97 de la línea en cuestión, con el fin de permitir minimizar la potencia reflejada en cada aplicador 92.

La figura 3 ilustra un primer ejemplo de reactor 99a para una instalación de producción de plasma, que utiliza unos dispositivos de aplicación 92 del tipo aplicador coaxial con un adaptador de impedancia 97 para cada aplicador coaxial 92. Los aplicadores coaxiales 92 desembocan en la cámara de tratamiento 90 en la pared cilíndrica del reactor 99a. Este primer reactor 99a es un reactor de deposición/grabado de baja presión en el que cada fuente elemental de plasma 91 comprende además una estructura magnética 98 diseñada para generar un campo magnético que, acoplado a una onda electromagnética de frecuencia dada, permite la producción de un plasma en la resonancia ciclotrónica electrónica (RCE).

En este caso, las fuentes elementales de plasma 91 se denominan fuentes elementales de acoplamiento RCE o fuentes dipolares. Habitualmente, las estructuras magnéticas se realizan en forma de imanes 98 permanentes, constituidos, por ejemplo, por imanes cilíndricos (dipolo magnético), colocados en los extremos de los aplicadores coaxiales 92.

Este tipo de reactor 99a, que pone en práctica una técnica de excitación del plasma en la resonancia ciclotrónica electrónica, denominada frecuentemente técnica RCE o ECR en inglés, está particularmente bien adaptado para aplicaciones en la pulverización catódica (PVD) o el grabado por plasma, empleando un portasustrato PS polarizable y un portablancos PC polarizable dispuestos en la cámara de tratamiento 90 en otras dos paredes opuestas y paralelas del reactor 99a. Este tipo de reactor 99a también está adaptado para la deposición química en fase de vapor asistida por plasma (o procedimiento PACVD por "Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition"), para los procedimientos híbridos que combinan los procedimientos PVD y PACVD, y para la pulverización reactiva. Este tipo de reactor 99a funciona normalmente a unas presiones inferiores al pascal (Pa) pero puede ascender hasta varios miles de pascales según la aplicación.

La figura 4 ilustra un segundo ejemplo de reactor 99b para una instalación de producción de plasma, que utiliza unos dispositivos de aplicación 92 del tipo aplicador coaxial con un adaptador de impedancia 97 para cada aplicador coaxial 92. Los aplicadores coaxiales 92 desembocan en la cámara de tratamiento 90 en una misma pared del reactor 99b. En este segundo reactor 99b, las fuentes elementales de plasma 91 no comprenden ninguna estructura magnética.

Este tipo de reactor 99b, está particularmente bien adaptado para aplicaciones en la deposición/grabado a presión media, como por ejemplo para realizar deposición por PACVD (deposición química en fase de vapor asistida por plasma) o grabado por plasma, empleando un portasustrato PS polarizable dispuesto en la cámara de tratamiento 90 en una pared del reactor 99b situada junto a los aplicadores coaxiales 92. Con este tipo de reactor 99b, los procedimientos de deposición química funcionan muy bien en un intervalo de presión media, del orden del centenar de pascales (Pa), permitiendo de este modo obtener altas velocidades de deposición, pero puede funcionar, de manera más exacta, de algunos pascales a varias decenas de miles de pascales según las aplicaciones.

5 Sin embargo, estas instalaciones habituales de producción de un plasma excitado por microondas presentan numerosos inconvenientes, que también se encuentran en instalaciones de tratamiento por microondas aplicadas a la industria química en cámaras de tratamiento del tipo reactor, en la industria agroalimentaria en cámaras de tratamiento del tipo cavidad de calentamiento, etc.

10 Un primer inconveniente se deriva de las limitaciones inherentes a los adaptadores de impedancia 97 para realizar una adaptación de independencia en cada dispositivo de aplicación, empleándose también, por otro lado, unos adaptadores de impedancia de este tipo en instalaciones de tratamiento por microondas aplicadas en la industria química, médica (por ejemplo, tratamiento por un lado del cuerpo, tal como un tumor, mediante radiación de microondas) o en la industria agroalimentaria (por ejemplo, calentamiento o esterilización de alimentos mediante radiación de microondas).

15 De manera conocida, la adaptación de impedancia es una técnica que permite optimizar la transferencia de una potencia o energía electromagnética, en el caso presente una potencia o energía de microondas, entre un emisor, en este caso el generador de onda electromagnética, y un receptor eléctrico denominado carga, es decir el plasma confinado en la cámara de tratamiento.

20 Así, tal como se ha descrito anteriormente, en una instalación de tratamiento por microondas es habitual emplear uno o varios adaptadores de impedancia situados entre el dispositivo de aplicación y el generador de onda electromagnética, con el fin de optimizar sus rendimientos. Se dice que la adaptación de impedancia es óptima cuando la potencia reflejada por el plasma es nula, incluso lo más baja posible.

25 Ahora bien, cualquier carga, tal como un plasma, una mezcla de reacción química o gaseosa, un producto sólido, etc., posee una impedancia que varía a lo largo del tiempo en función de las condiciones de funcionamiento puestas en práctica, como por ejemplo la presión en la cámara de tratamiento, la temperatura en la cámara de tratamiento, la naturaleza del o de los gases introducidos en la cámara de tratamiento para crear el plasma, las proporciones de estos gases, la potencia transmitida a la carga, la naturaleza de la energía electromagnética transmitida a la carga, etc. pero también en función de las características de la cámara de tratamiento, como por ejemplo el material empleado para sus paredes, sus dimensiones, su geometría, el estado de superficie de sus paredes, etc.

35 Así, cuantos más dispositivos de aplicación posea la instalación, más complicada y restrictiva será la adaptación de impedancia, en particular si cada dispositivo de aplicación posee su propio adaptador de impedancia manual y si se debe realizar esta adaptación para cada dispositivo de aplicación y, eventualmente, para cada condición de funcionamiento. Un adaptador de impedancia puede presentar numerosas formas y también puede estar integrado en el aplicador.

40 En referencia a las figuras 2 a 4, un adaptador de impedancia 97 coaxial con dieléctrico comprende generalmente dos anillos concéntricos 970 con núcleo coaxial, pudiendo estos anillos concéntricos 970 desplazarse a lo largo del eje del cable coaxial 94 para hacer variar la impedancia en la entrada del adaptador de impedancia 97. Los anillos concéntricos 970 constituyen unas discontinuidades dieléctricas que, cuando se desplazan, permiten ajustar el coeficiente de reflexión. Así, al desplazar los anillos concéntricos 970, se crea en la entrada del adaptador una onda reflejada en oposición de fase con la onda reflejada por el aplicador asociado pero con la misma amplitud, de este modo la resultante de las potencias reflejadas es nula y el sistema está adaptado.

50 Durante un procedimiento de tratamiento por microondas, las condiciones de funcionamiento cambian a menudo sobre la marcha, y los usuarios proceden generalmente a un ajuste medio y fijo de los adaptadores de impedancia. De este modo, la adaptación de impedancia será aceptable para las diversas condiciones de funcionamiento utilizadas durante el procedimiento pero no se optimizará para cada condición de funcionamiento, salvo que el usuario vuelva a realizar manualmente una adaptación para cada cambio de estas condiciones de funcionamiento.

55 También se conoce emplear adaptadores de impedancia automáticos en el campo de la producción de plasma, que integran dispositivos electrónicos de control que controlan el desplazamiento de elementos mecánicos. Sin embargo, estos adaptadores de impedancia automáticos son particularmente complejos y costosos debido a los dispositivos electrónicos de control, y poco reactivos ya que necesitan el control de elementos mecánicos entre varias posiciones.

60 Un segundo inconveniente se refiere a la dificultad de controlar o ajustar la potencia transmitida a cada dispositivo de aplicación, incluso de distribuir de manera equitativa la potencia transmitida entre los diferentes dispositivos de aplicación; favoreciendo una buena distribución, por ejemplo, un calentamiento homogéneo de un producto agroalimentario o de una composición o mezcla química, en particular para favorecer reacciones enfocadas en el volumen en el interior de un reactor químico, o la producción de un plasma uniforme, en volumen o en superficie, en la cámara de tratamiento y a una distancia dada de la o de sus paredes.

En efecto, esta dificultad procede, entre otras, de los divisores de potencia que no aportan una satisfacción completa. En el caso de un generador con magnetrón, el mayor problema reside en la división de potencia. En efecto, los divisores de potencia están diseñados para dividir la potencia de microondas de 2,45 GHz de manera equitativa entre varias antenas. Ahora bien, la frecuencia de la onda emitida por el generador con magnetrón varía con la potencia, y por tanto, la división sólo será equitativa para un intervalo de potencia limitado que, además, será diferente de un generador a otro.

Esta dificultad también procede de los dispositivos de aplicación que pueden presentar unas potencias reflejadas variables de un dispositivo de aplicación a otro. Al emplear varios dispositivos de aplicación alimentados por un mismo generador, se puede constatar en determinados casos una influencia de la impedancia de un dispositivo de aplicación en los otros dispositivos de aplicación, en ausencia de un desacoplamiento suficiente entre las líneas de alimentación de los diferentes dispositivos de aplicación. De este modo, se observan desequilibrios entre las potencias transmitidas por los dispositivos de aplicación, que perjudican la uniformidad del calentamiento o del plasma en la cámara de tratamiento.

Se debe observar que una distribución equitativa de la potencia transmitida a la carga por los diferentes dispositivos de aplicación favorece la producción de un calentamiento homogéneo o de un plasma uniforme en la cámara de tratamiento, por lo menos hasta una determinada distancia de los dispositivos de aplicación, pero no garantiza en sí misma la obtención de una uniformidad de este tipo, ya que esta uniformidad depende de la difusión del calentamiento o del plasma en la cámara de tratamiento, que a su vez depende principalmente, de manera directa o indirecta, de las condiciones de funcionamiento (presión, potencia transmitida, características de la carga, del producto o de la mezcla que se va a tratar, etc.) y de las dimensiones y de la forma de la cámara de tratamiento.

En un primer ejemplo de instalación, ilustrado en las figuras 1 y 4, los dispositivos de aplicación están distribuidos en un mismo plano, denominado plano de fuente, según una malla dada, por ejemplo cuadrada o hexagonal. Al distribuir de manera equitativa la potencia transmitida entre estos dispositivos de aplicación, se obtiene un plasma localizado en el extremo de cada aplicador y, por difusión, se obtiene un plasma sustancialmente uniforme en cuanto a densidad del plasma a una distancia determinada del plano de fuente. Sin embargo, puede observarse, a medida que se aleja del plano de fuente, una variación de densidad del plasma. En este caso se habla de una uniformidad en superficie del plasma, ya que esto corresponde a una uniformidad del plasma en planos paralelos al plano de fuente.

En un segundo ejemplo de instalación, ilustrado en la figura 3, los dispositivos de aplicación están distribuidos en coronas en la pared cilíndrica del reactor cilíndrico. Al distribuir de manera equitativa la potencia transmitida entre estos dispositivos de aplicación, se obtiene un plasma sustancialmente uniforme en cuanto a densidad del plasma a una distancia determinada de la pared cilíndrica. Así, es posible obtener una uniformidad en un gran volumen de la cámara de tratamiento, y se habla entonces de una uniformidad en volumen del plasma, ya que este tipo de instalación funciona generalmente a muy baja presión; favoreciendo una baja presión la difusión de las especies.

Un tercer inconveniente se deriva de la dificultad de controlar la superficie de resonancia en el caso particular de las instalaciones que ponen en práctica la técnica de excitación del plasma en la resonancia ciclotrónica electrónica.

En presencia de un campo magnético B uniforme, las trayectorias de los electrones son hélices enrolladas alrededor de las líneas del campo. Los electrones poseen una velocidad angular ω que responde a la siguiente ecuación:

$$\omega = 2\pi \cdot f = e \cdot B / m,$$

en la que m y e corresponden respectivamente a la masa y a la carga del electrón.

Cuando se superpone al campo magnético B un campo eléctrico uniforme alternativo de pulsación ω_p , los electrones, además de sus movimientos helicoidales, experimentan fuerzas a la frecuencia $f_p = \omega_p / 2\pi$.

Con esta técnica RCE, se obtiene la resonancia cuando la frecuencia de giro de un electrón en un campo magnético estático o casi estático es igual a la frecuencia del campo eléctrico acelerador aplicado. Dicho de otro modo, para $\omega = \omega_p$, se obtiene la condición de resonancia ciclotrónica electrónica, la componente de la velocidad de los electrones perpendicular al campo magnético B se incrementa, aportando a los electrones una trayectoria en espiral helicoidal (la trayectoria perpendicular a las líneas de campo B es una espiral). Así, se transmite una cantidad importante de energía a los electrones, que permite ionizar fácilmente las especies neutras del gas durante colisiones. Este tipo de plasma funciona en un intervalo de presión del orden de 10^{-3} mbar (0,1 Pa), que corresponde a una presión suficientemente baja como para permitir que los electrones

adquieran energía suficiente entre dos colisiones, pero tampoco demasiado baja para que haya colisiones ionizantes suficientes como para mantener el plasma.

5 Así, la zona de creación de las especies excitadas depende del campo magnético B y de la frecuencia f de la onda emitida. Ahora bien, actualmente, es difícil controlar la ubicación de esta zona de creación, dicho de otro modo, controlar la superficie de resonancia, sabiendo que un control de este tipo puede presentar numerosas ventajas para modificar la densidad del plasma y por tanto, para optimizar los rendimientos de la instalación.

10 La presente divulgación presenta como objeto resolver la totalidad o parte de estos inconvenientes, proponiendo una instalación de tratamiento por microondas que permite controlar la potencia reflejada en el o en cada dispositivo de aplicación con el fin de realizar la adaptación de impedancia, de controlar la potencia transmitida por el o por cada dispositivo de aplicación en particular con el fin de distribuir de manera equitativa la potencia transmitida entre los diferentes dispositivos de aplicación para, eventualmente, obtener un calentamiento o plasma sustancialmente uniforme en volumen o en superficie, en la cámara de tratamiento, a una distancia dada de la o de sus paredes, y de controlar la superficie de resonancia en el caso particular de instalaciones que ponen en práctica la técnica de excitación del plasma en la resonancia ciclotrónica electrónica.

20 Al poner en práctica el ajuste de la frecuencia de la onda electromagnética producida por el o por cada generador de estado sólido, siempre permaneciendo, evidentemente, en el campo de las microondas, la divulgación permite solucionar de manera sencilla y eficaz los diferentes problemas derivados del estado de la técnica. En efecto, la frecuencia influye directamente en la potencia reflejada, y por tanto en la adaptación de impedancia, en la potencia transmitida, y por tanto en la uniformidad del plasma, y también en la superficie de resonancia en el caso de instalaciones que ponen en práctica la técnica de excitación del plasma en la Resonancia ciclotrónica electrónica.

25 Por tanto, la innovación consiste en la utilización de uno o varios generadores de estado sólido y de uno o varios sistemas de ajuste de frecuencia (en este caso uno por generador) que permiten hacer variar la frecuencia de la onda electromagnética generada por el generador de estado sólido correspondiente.

30 Los generadores de estado sólido, también denominados generadores de onda electromagnética con transistor, están, en efecto, particularmente bien adaptados para hacer variar la frecuencia de la onda, de manera automática (por ejemplo con un programa de control informático en ordenador o con un autómatas), para cada dispositivo de aplicación.

35 Con respecto a las definiciones de las potencias, se presenta: $P_{T(i)}$ corresponde a la potencia transmitida por el dispositivo de aplicación (i) a la carga, $P_{R(i)}$ corresponde a la potencia reflejada por el dispositivo de aplicación (i), $P_{IN(i)}$ corresponde a la potencia incidente transmitida al dispositivo de aplicación (i) por el generador asociado; siendo esta potencia incidente $P_{IN(i)}$ igual a la potencia proporcionada por el generador en cuestión, con una precisión de las pérdidas de líneas, si un generador alimenta un solo y mismo dispositivo de aplicación.

Con la divulgación, pueden concebirse tres utilizaciones privilegiadas, pero no necesariamente limitativas.

45 Una primera utilización consiste en hacer variar la frecuencia de la onda producida por el o por cada generador, para controlar la potencia reflejada $P_{R(i)}$ en el o en cada dispositivo de aplicación (i). De esta manera, puede minimizarse, eventualmente hasta la anulación, la potencia reflejada $P_{R(i)}$ en el o en cada dispositivo de aplicación (i), realizando así una adaptación de impedancia.

50 Con respecto a la adaptación de impedancia, se tienen en cuenta varios fenómenos: siendo uno de ellos que la propia impedancia de la carga, como por ejemplo en el caso de un plasma o de determinados productos químicos reactivos, cambia localmente ya que depende, entre otras cosas, de la potencia transmitida a la carga, dependiendo en sí misma de la adaptación de impedancia y por tanto también de la frecuencia puesto que influye en la adaptación de impedancia.

55 Esta primera utilización permite prescindir de los adaptadores de impedancia en determinados casos pero, en otros casos, ofrece un grado de ajuste complementario para la adaptación de impedancia sin por ello prescindir por completo de los adaptadores de impedancia. Así, si el ajuste de la impedancia es satisfactorio al comienzo de un procedimiento (con o sin la utilización de adaptadores de impedancia) y la carga se desadapta (por ejemplo durante un cambio de las condiciones de funcionamiento), entonces se permite adaptar de nuevo la impedancia haciendo variar la frecuencia f(i) de la onda electromagnética, y esto para el generador o para cada generador de manera individual.

60 Así, sea cual sea la causa del desacuerdo de impedancia (al principio o durante el procedimiento), la potencia reflejada puede minimizarse, incluso anularse, haciendo variar la frecuencia de la onda electromagnética, y ello sea cual sea el tipo de dispositivo de aplicación. En efecto, la divulgación no está limitada a una

arquitectura específica del o de los dispositivos de aplicación, que pueden ser del tipo aplicador coaxial (con o sin estructura magnética), tubo de descarga (surfatrón, cavidad Evenson, fuente aguas abajo, antorcha de plasma semimetálica, etc.), antena, guía de ondas con una ventana dieléctrica, etc.

5 Esta innovación presenta un interés en todas las aplicaciones de tratamiento por microondas, como por ejemplo un procedimiento de calentamiento o de aplicación de una radiación de microondas en un reactor químico, un procedimiento de plasma (grabado, deposición de capas de material, tratamiento químico o termoquímico, pulverización, descontaminación, esterilización, limpieza, nitruración, implantación iónica, desinfección, etc.), un procedimiento de tratamiento médico mediante aplicación de una radiación de
10 microondas, ya que todas estas aplicaciones necesitan un acuerdo de impedancia con el fin optimizar sus rendimientos en cuanto a densidad iónica, densidad de especies reactivas, densidad de especies excitadas, temperaturas parciales de las especies, etc.

15 Una segunda utilización consiste en hacer variar la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda producida por el o por cada generador, para controlar la potencia transmitida $P_{T(i)}$ a la carga por el o por cada dispositivo de aplicación (i). De esta manera, puede distribuirse de manera equitativa la potencia transmitida $P_{T(i)}$ entre los diferentes dispositivos de aplicación (i), dicho de otro modo, hacer que se garantice tener sustancialmente la misma potencia transmitida $P_{T(i)}$ para cada dispositivo de aplicación, para eventualmente obtener un calentamiento o
20 un plasma uniforme en volumen o en superficie en la cámara de tratamiento, a una distancia dada de la o de sus paredes.

Un control de este tipo de la potencia transmitida a cada uno de los dispositivos de aplicación (i) también permite crear desigualdades locales, haciendo que los dispositivos de aplicación (i) no transmitan todos la misma potencia $P_{T(i)}$ por ejemplo con el fin de compensar efectos de bordes (que pueden deberse a una
25 pérdida de densidad del plasma cerca de las paredes) para favorecer deposiciones uniformes o, por el contrario, crear gradientes de densidad del plasma para, por ejemplo, realizar deposiciones progresivas, no uniformes o con velocidades de deposición controladas.

30 En las dos primeras utilizaciones, se permite controlar, haciendo variar la frecuencia $f_{(i)}$ para el o para cada dispositivo de aplicación (i), la potencia reflejada $P_{R(i)}$ o la potencia transmitida $P_{T(i)}$ en cada dispositivo de aplicación (i), ya sea para minimizar la potencia reflejada $P_{R(i)}$ con el fin de una adaptación de impedancia o ya sea para hacer que la potencia transmitida $P_{T(i)}$ tome un valor predefinido.

35 En efecto, para cada dispositivo de aplicación (i) (siendo i un número entero comprendido entre 1 y N, siendo N el número de dispositivos de aplicación), la potencia transmitida $P_{T(i)}$ corresponde a la diferencia entre la potencia incidente $P_{IN(i)}$ transmitida al dispositivo de aplicación correspondiente (siendo esta potencia incidente igual, con una precisión de las pérdidas de líneas, a la potencia proporcionada por el generador asociado en el caso de que un generador alimente un solo dispositivo de aplicación) y la potencia reflejada
40 $P_{R(i)}$ en este mismo dispositivo de aplicación, la relación es la siguiente: $P_{T(i)} = P_{IN(i)} - P_{R(i)}$.

45 Así, controlar la potencia reflejada $P_{R(i)}$ haciendo variar la frecuencia $f_{(i)}$ equivale a controlar la potencia transmitida $P_{T(i)}$, y a la inversa. Evidentemente, puede concebirse actuar, además de sobre la frecuencia $f_{(i)}$, sobre la potencia incidente $P_{IN(i)}$ para ajustar la potencia transmitida $P_{T(i)}$, sabiendo que puede actuarse sobre la potencia incidente $P_{IN(i)}$ en particular actuando sobre la potencia proporcionada por el generador asociado.

50 Una tercera utilización que se refiere a las instalaciones que ponen en práctica la técnica de plasma en la resonancia ciclotrónica electrónica (RCE), consiste en hacer variar la frecuencia de la onda producida mediante el o mediante por lo menos un generador, para controlar la superficie de resonancia en el o en cada dispositivo de aplicación y por tanto la densidad de potencia del plasma en una zona de la cámara de tratamiento cercana al dispositivo de aplicación en cuestión.

55 Según una característica, el o cada sistema de ajuste de frecuencia está diseñado para ajustar la frecuencia de la onda electromagnética en un intervalo de frecuencia elegido en el campo de las microondas, como por ejemplo en un intervalo de frecuencia comprendido entre aproximadamente 2400 y 2500 MHz, o por ejemplo entre aproximadamente 5725 y 5875 MHz, incluso en otro intervalo de frecuencia predeterminado que pertenece al campo de las microondas.

60 Por ejemplo, en el caso de un intervalo de frecuencia variable entre 2400 y 2500 MHz, el generador suministra una onda electromagnética a una frecuencia central de 2450 MHz, con una variación de más o menos 50 MHz alrededor de esta frecuencia central, permaneciendo así en el campo de las microondas; permitiendo esta variación sobre un intervalo total de 100 MHz responder a la parte esencial de los problemas encontrados de adaptación de impedancia alrededor de 2450 MHz.

65 Evidentemente, la divulgación no se limita a este intervalo de frecuencia específico, ni a una frecuencia central de utilización dada. La presente divulgación es válida en el campo de las microondas y la elección del intervalo de frecuencia dependerá esencialmente de la tecnología del o de los generadores de estado sólido

empleados en la instalación, y también de las normas y/o reglamentos vigentes.

Según una posibilidad de la divulgación, la instalación comprende por lo menos dos generadores asociados cada uno a un sistema de ajuste de frecuencia y por lo menos dos dispositivos de aplicación, estando cada generador conectado a por lo menos un dispositivo de aplicación.

En esta configuración, cada generador suministra su onda electromagnética a uno o varios dispositivos de aplicación. Al emplear varios generadores, se mejoran las posibilidades de ajuste individual de la potencia reflejada, de la potencia transmitida y/o de la superficie de resonancia, dispositivo de aplicación por dispositivo de aplicación, limitando las interacciones entre los dispositivos de aplicación.

Se observa que, si un generador está asociado a varios dispositivos de aplicación (i), entonces la frecuencia $f_{(i)}$ para estos dispositivos de aplicación (i) es la misma para cada uno de ellos y corresponde a la frecuencia de la onda generada por este generador común.

El o cada generador de estado sólido puede estar o bien constituido por un solo y único generador con una potencia dada, o bien por varios subgeneradores. Por ejemplo, para un generador de estado sólido que suministra una potencia de 200 vatios, puede o bien haber un solo y único generador de estado sólido con una potencia de 200 vatios, o bien haber dos subgeneradores de estado sólido, presentando cada uno una potencia de 100 vatios. Evidentemente, los subgeneradores deben estar en fase y comprender por tanto un sistema de ajuste de frecuencia común.

Según otra posibilidad de la divulgación, la instalación comprende N generadores asociados cada uno a un sistema de ajuste de frecuencia, y N dispositivos de aplicación, en la que N es un número entero superior a 2, estando cada generador conectado a un único dispositivo de aplicación.

Esta configuración es particularmente ventajosa, ya que cada dispositivo de aplicación (i) se alimenta de potencia o energía de microondas por un solo y único generador, y a la inversa cada generador alimenta un solo y único dispositivo de aplicación. Así, no es necesario ningún divisor de potencia, y el ajuste de la potencia reflejada en cada dispositivo de aplicación se realiza mediante el ajuste de la frecuencia en el generador correspondiente, y esto de manera independiente entre los dispositivos de aplicación, limitando de este modo los problemas de interacción entre los dispositivos de aplicación y de división de las ondas electromagnéticas.

Además, debe observarse que el ajuste de la frecuencia $f_{(i)}$ para el o para cada generador se realiza en respuesta a un control automatizado con el medio de control automatizado, por ejemplo del tipo autómatas, procesador u ordenador.

La ventaja de un medio de control automatizado es poder realizar un ajuste automático de frecuencia para cada generador, hasta por ejemplo minimización de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ en los dispositivos de aplicación (i) para una adaptación de impedancia, control de la potencia transmitida $P_{T(i)}$ en los dispositivos de aplicación (i) y control de las superficies de resonancia.

La realización está particularmente adaptada para el control de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ que permite la adaptación de impedancia (condición a), y para el ajuste de la potencia transmitida $P_{T(i)}$ que permite, en particular, obtener un plasma uniforme (condición b). Cabe recordar que, controlar la potencia reflejada $P_{R(i)}$ haciendo variar la frecuencia equivale a controlar la potencia transmitida $P_{T(i)}$, y a la inversa. Dicho de otro modo, las dos condiciones a) y b) son sustancialmente equivalentes.

Para cada dispositivo de aplicación (i) corresponden un primer valor de referencia $V_{R(i)}$ de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ y un segundo valor de referencia $V_{P(i)}$ para la potencia transmitida $P_{T(i)}$. Dicho de otro modo, los valores de referencia $V_{R(i)}$ y $V_{P(i)}$ no son necesariamente iguales de un dispositivo de aplicación (i) a otro.

Más en particular, durante un cambio en las condiciones de funcionamiento, se informará al medio de control automatizado en tiempo real sobre una variación de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ en uno o varios dispositivos de aplicación (i) (condición a) o sobre una variación de la potencia transmitida $P_{T(i)}$ por uno o varios dispositivos de aplicación (i) (condición b), después de la recepción de las mediciones que provienen de los sistemas de medición, y, por un sencillo bucle de realimentación, el medio de control automatizado ajustará la potencia reflejada $P_{R(i)}$ y en particular la minimizará (condición a) o ajustará la potencia transmitida $P_{T(i)}$ en particular para que sea la misma en cada dispositivo de aplicación (condición b) haciendo variar la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda electromagnética para el dispositivo de aplicación (i). Así, el acuerdo de impedancia (condición a) o el ajuste de la potencia transmitida (condición b), por ejemplo con vistas a obtener la uniformidad del calentamiento o del plasma, se realiza automáticamente.

De manera más general, la potencia reflejada $P_{R(i)}$ o transmitida $P_{T(i)}$ puede ajustarse automáticamente mediante el medio de control según un bucle de realimentación haciendo variar la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda

electromagnética, y esto sea cual sea el tipo de dispositivo de aplicación (i). Tal como se presenta de manera más precisa a continuación, evidentemente, puede concebirse actuar, además de sobre la frecuencia $f_{(i)}$, sobre la potencia incidente $P_{IN(i)}$ para ajustar la potencia transmitida $P_{T(i)}$.

5 En una realización particular, el primer valor de referencia $V_{R(i)}$ corresponde, para el o para cada dispositivo de aplicación (i), a un mínimo de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ medida con el fin de realizar una adaptación de impedancia en el o en cada dispositivo de aplicación (i); siendo este mínimo eventualmente igual o cercano a cero. Este mínimo de potencia reflejada puede corresponder, evidentemente, a una potencia reflejada umbral predeterminada que se fija por defecto en el programa o por el usuario, o bien en cuanto a potencia umbral experimentada en vatios o bien en cuanto a porcentaje de la razón de la potencia reflejada con respecto a la potencia incidente.

15 Esta realización conduce por tanto a una adaptación de impedancia, el primer valor de referencia que alcanzará la potencia reflejada $P_{R(i)}$ en cada dispositivo de aplicación (i), tras un bucle de realimentación, se fija sustancialmente a cero, o por lo menos a un valor mínimo accesible, lo que equivale a minimizar automáticamente la potencia reflejada $P_{R(i)}$ en cada dispositivo de aplicación (i) haciendo variar la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda electromagnética. Dicho de otro modo, para la adaptación de impedancia, el medio de control automatizado hará variar la frecuencia $f_{(i)}$ hasta encontrar un mínimo de la potencia reflejada $P_{R(i)}$.

20 Según una realización ventajosa en la que la instalación comprende varios dispositivos de aplicación (i), el segundo valor de referencia $V_{T(i)}$ corresponde, para cada dispositivo de aplicación (i), a un valor de consigna VC_T predeterminado idéntico para cada uno de los dispositivos de aplicación (i), en particular con el fin de favorecer la obtención de un calentamiento o de un plasma uniforme en volumen o en superficie en la cámara de tratamiento, a una distancia dada de la o de las paredes que delimitan dicha cámara de tratamiento, distribuyendo de manera sustancialmente equitativa la potencia transmitida a la carga.

25 Esta realización conduce por tanto a un ajuste de la potencia transmitida $P_{T(i)}$ en cada uno de los dispositivos de aplicación (i), que presenta un interés particular para los procedimientos por plasma que requieren una gran uniformidad, teniendo este ajuste automático de la potencia transmitida $P_{T(i)}$ en cada dispositivo de aplicación (i) el objetivo de obtener la misma potencia transmitida $P_{T(i)}$ en cada dispositivo de aplicación (i). Dicho de otro modo, el objetivo ya no es el de minimizar sistemáticamente la potencia reflejada $P_{R(i)}$ en cada dispositivo de aplicación (i) (para la adaptación de impedancia), sino presentar una misma potencia transmitida $P_{T(i)}$ en cada dispositivo de aplicación (i).

30 Así, para el ajuste de la potencia transmitida $P_{T(i)}$ en un dispositivo de aplicación (i), el medio de control automatizado hace variar la frecuencia $f_{(i)}$, y eventualmente, además, la potencia incidente $P_{IN(i)}$, para que la potencia transmitida al dispositivo de aplicación $P_{T(i)} = P_{IN(i)} - P_{R(i)}$ sea igual al valor de consigna deseado para este mismo dispositivo de aplicación; siendo $P_{T(i)}$ y $P_{R(i)}$ funciones de la frecuencia $f_{(i)}$ y de la potencia incidente $P_{IN(i)}$.

35 Para favorecer la obtención de un calentamiento o plasma uniforme, por lo menos a una distancia determinada de los dispositivos de aplicación, cada dispositivo de aplicación (i) recibirá por tanto el mismo valor de consigna VC_T para la potencia transmitida $P_{T(i)}$, de manera que las potencias transmitidas $P_{T(i)}$ de los diferentes dispositivos de aplicación (i) sean todas iguales, sabiendo que la potencia incidente $P_{IN(i)}$ puede variar de un dispositivo de aplicación (i) a otro.

40 Por ejemplo, el dispositivo de aplicación (1) presenta 150 W de potencia incidente (es decir $P_{IN(1)} = 150$ W) y 10 W de potencia reflejada (es decir $P_{R(1)} = 10$ W), mientras que el dispositivo de aplicación (2) presenta 142 W de potencia incidente (es decir $P_{IN(2)} = 142$ W) y 2 W de potencia reflejada (es decir $P_{R(2)} = 2$ W). Así, el dispositivo de aplicación (1) y el dispositivo de aplicación (2) transmitirán cada uno una potencia transmitida al plasma $P_{T(1)} = P_{T(2)} = 140$ W. Esta situación corresponde a una realimentación de la potencia reflejada $P_{R(1)}$ para el dispositivo de aplicación (1) al valor de 10 W y a una realimentación de la potencia reflejada $P_{R(2)}$ para el dispositivo de aplicación (2) al valor de 2 W, actuando sobre la frecuencia $f_{(1)}$ de la onda electromagnética en el dispositivo de aplicación (1) por un lado y sobre la frecuencia $f_{(2)}$ de la onda electromagnética en el dispositivo de aplicación (2) por otro lado. Llegado el caso, también es posible actuar sobre la potencia incidente $P_{IN(i)}$ en cada uno de los dispositivos de aplicación (i), actuando sobre los generadores asociados a los dispositivos de aplicación (i).

45 Como variante, y siempre en el contexto de la condición b) y del ajuste de la potencia transmitida $P_{T(i)}$, también puede concebirse que el medio de control automatizado haga variar la frecuencia $f_{(i)}$, y eventualmente además la potencia incidente $P_{IN(i)}$, para que la potencia transmitida $P_{T(i)}$ varíe de un dispositivo de aplicación (i) a otro. En este caso, los segundos valores de referencia $V_{T(i)}$ no son todos idénticos, con el fin de obtener por ejemplo una desigualdad controlada del calentamiento o del plasma en la cámara de tratamiento.

60 Esta variante presenta un interés si se desea una desigualdad deseada en los dispositivos de aplicación, en

particular para compensar los efectos de bordes o para crear un gradiente de potencia transmitida a lo largo de una línea de dispositivos de aplicación para, por ejemplo, realizar deposiciones progresivas, obtener un tratamiento de superficie de intensidad variable, o realizar un control progresivo del tratamiento durante un procedimiento continuo.

5 Según una posibilidad de la divulgación en la que la instalación comprende varios dispositivos de aplicación (i), el medio de control automatizado está unido al o a cada generador con el fin de recibir en la entrada el valor de la potencia incidente $P_{IN(i)}$ asociada a cada dispositivo de aplicación (i), y el medio de control está diseñado para cumplir la condición b) poniendo en práctica las siguientes subetapas durante la etapa e2) de control:

10 e3) calcular, para cada dispositivo de aplicación (i), un valor de consigna $VC_{R(i)}$ de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ correspondiente a una potencia transmitida $P_{T(i)}$ por el dispositivo de aplicación (i) igual al segundo valor de referencia $V_{T(i)}$, es decir $VC_{R(i)} = P_{IN(i)} - V_{T(i)}$;

15 e4) controlar, para cada dispositivo de aplicación (i), el sistema de ajuste de frecuencia en cuestión para hacer variar la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda electromagnética producida por el generador asociado, con el fin de realimentar la potencia reflejada $P_{R(i)}$ a dicho valor de consigna $VC_{R(i)}$.

20 De esta manera, se realiza un bucle de realimentación sobre la potencia reflejada $P_{R(i)}$ para cada dispositivo de aplicación (i), con el fin de cumplir la condición b), y por tanto realizar un ajuste de la potencia transmitida $P_{T(i)}$.

25 Según otra posibilidad de la divulgación, el medio de control controla el o cada generador de potencia para que el o cada generador suministre una potencia incidente $P_{IN(i)}$ dada, y el medio de control está diseñado para realizar la etapa e2), y cumplir las condiciones a) y/o b), controlando al mismo tiempo el o cada sistema de ajuste de frecuencia para hacer variar la frecuencia $f_{(i)}$ asociada, y el o cada generador para hacer variar la potencia incidente $P_{IN(i)}$ asociada.

30 De esta manera, el medio de control actúa, para el o para cada dispositivo de aplicación, al mismo tiempo sobre la frecuencia y sobre la potencia incidente para cumplir la condición a) y/o la condición b). Actuar además sobre la potencia incidente permite, en efecto, afinar el ajuste de la potencia reflejada y/o de la potencia transmitida, dependiendo estas dos mismas potencias al mismo tiempo de la frecuencia y de la potencia incidente.

35 De manera ventajosa, en el contexto de este control doble de la frecuencia y la potencia incidente, el medio de control está diseñado para, durante la subetapa e4), controlar, para cada dispositivo de aplicación (i), al mismo tiempo:

- 40 - el generador en cuestión para que suministre una potencia incidente $P_{IN(i)}$ a un valor de consigna $VC_{IN(i)}$ dado, eventualmente variable; y
- 45 - el sistema de ajuste de frecuencia en cuestión para hacer variar la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda electromagnética producida por el generador asociado, con el fin de realimentar la potencia reflejada $P_{R(i)}$ al valor de consigna $VC_{R(i)}$ que responde a la siguiente relación: $VC_{R(i)} = VC_{IN(i)} - V_{T(i)}$.

50 Esta técnica es ventajosa ya que permite actuar al mismo tiempo sobre la frecuencia $f_{(i)}$ y sobre la potencia incidente $P_{IN(i)}$ para cumplir la condición b), y por tanto realizar un ajuste de la potencia transmitida $P_{T(i)}$. Es evidente que puede hacerse variar el valor de consigna $VC_{IN(i)}$ de la potencia incidente $P_{IN(i)}$ durante el ajuste, para obtener finalmente el mejor ajuste de la potencia transmitida $P_{T(i)}$.

55 En un modo de realización ventajoso en el que la instalación comprende varios dispositivos de aplicación, el medio de control está unido al o a cada generador con el fin de recibir en la entrada el valor de la potencia incidente $P_{IN(i)}$ asociada a cada dispositivo de aplicación y de controlar el o cada generador de potencia para que el o cada generador suministre una potencia incidente $P_{IN(i)}$ dada, y el medio de control está diseñado para cumplir las dos condiciones a) y b) poniendo en práctica las siguientes subetapas durante la etapa e2) de control:

60 e5) controlar cada sistema de ajuste de frecuencia para hacer variar la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda electromagnética producida por el generador en cuestión hasta que se cumpla la condición a), de manera que cada potencia reflejada $P_{R(i)}$ es igual al primer valor de referencia $V_{R(i)}$ correspondiente;

65 e6) calcular, para cada dispositivo de aplicación, un valor de consigna $VC_{IN(i)}$ de la potencia incidente $P_{IN(i)}$ correspondiente a una potencia transmitida $P_{T(i)}$ por el dispositivo de aplicación igual al segundo valor de referencia $V_{T(i)}$, es decir $VC_{IN(i)} = V_{R(i)} + V_{T(i)}$;

- e7) controlar el o cada generador para que suministre una potencia incidente $P_{IN(i)}$ al valor de consigna $VC_{IN(i)}$, con el fin de cumplir la condición b).

5 Este modo de realización es ventajoso ya que permite actuar en primer lugar sobre la frecuencia $f_{(i)}$ para cumplir la condición a) (y por tanto garantizar el ajuste de la potencia reflejada $P_{R(i)}$, en particular con el fin de una adaptación de impedancia) y a continuación actuar sobre la potencia incidente $P_{IN(i)}$ para cumplir la condición b) (y por tanto garantizar el ajuste de la potencia transmitida $P_{T(i)}$, en particular con el fin de una uniformidad del calentamiento o del plasma).

10 Evidentemente, durante el ajuste de la potencia incidente $P_{IN(i)}$ (etapa e7)), la potencia reflejada $P_{R(i)}$ puede cambiar de valor, por tanto la potencia incidente $P_{IN(i)}$ debe variar, efectivamente, hasta que se alcance su valor de consigna $VC_{IN(i)}$ pero siempre teniendo en cuenta el valor real de la potencia reflejada $P_{R(i)}$. Así, la etapa e2) de control es una etapa dinámica o continua, en tiempo real, que puede presentar repeticiones para adaptarse continuamente a las variaciones de las potencias reflejadas $P_{R(i)}$ y de las potencias incidentes $P_{IN(i)}$.

15 De manera ventajosa, el medio de control está diseñado para, durante la etapa e2) de control, poner en práctica, antes de la subetapa e5), una subetapa e8) que consiste en controlar el o cada generador para que suministre una potencia incidente $P_{IN(i)}$ a un valor próximo o sustancialmente igual al segundo valor de referencia $V_{T(i)}$.

20 Esta subetapa e8) permite de este modo, antes de actuar sobre la frecuencia $f_{(i)}$ durante la subetapa e5), que la potencia incidente $P_{IN(i)}$ se aproxime a su valor final, a saber al valor de consigna $VC_{IN(i)}$. Así, se dispone sucesivamente de las siguientes subetapas:

25 e8) al comienzo, el medio de control controla el o cada generador para ajustar la o cada potencia incidente $P_{IN(i)}$ a un valor próximo o igual al segundo valor de referencia $V_{T(i)}$;

30 e5) ajustar la o cada frecuencia $f_{(i)}$ para cumplir la condición a), con el fin de ajustar la o cada potencia reflejada $P_{R(i)}$;

e6) y e7) una vez ajustada la o cada potencia reflejada $P_{R(i)}$, sólo habrá que añadir algunos vatios para que la o cada potencia incidente $P_{IN(i)}$ alcance su valor de consigna $VC_{IN(i)}$.

35 En un modo de realización particular, la instalación comprende además por lo menos una estructura magnética diseñada para generar un campo magnético de resonancia que, combinado con la onda electromagnética, permite producir un plasma en la resonancia ciclotrónica electrónica, y el medio de control está diseñado para:

40 f1) calcular una consigna de frecuencia $Cf_{(i)}$, para el o para cada sistema de ajuste de frecuencia, correspondiente a un valor predeterminado de una superficie de resonancia ciclotrónica electrónica para el o para cada dispositivo de aplicación;

45 f2) controlar, para cada dispositivo de aplicación, el sistema de ajuste de frecuencia en cuestión para realimentar la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda electromagnética producida por el o por cada generador al valor de consigna $Cf_{(i)}$ correspondiente, con el fin de que la superficie de resonancia ciclotrónica electrónica del o de cada dispositivo de aplicación alcance el valor predeterminado correspondiente.

50 En el caso particular de una técnica de excitación del plasma en la resonancia ciclotrónica electrónica (RCE), se permite de este modo hacer variar el valor de la superficie de resonancia ciclotrónica electrónica haciendo variar la frecuencia de la onda para el o los dispositivos de aplicación, y por tanto controlar la geometría de las zonas de creación del plasma. Hacer variar la superficie de resonancia es una ventaja complementaria de la variación de la frecuencia, ya que esta superficie de resonancia es un parámetro que influye en las características y el rendimiento del plasma.

55 En una realización particular, el o cada dispositivo de aplicación comprende una estructura magnética, y como variante la estructura magnética está integrada en la cámara de tratamiento y no en los dispositivos de aplicación.

60 En el caso de esta técnica RCE, cada frecuencia corresponderá a una superficie de resonancia precisa, que depende de la estructura magnética integrada o no al dispositivo de aplicación. Así, para una misma potencia transmitida, en dos frecuencias diferentes, la densidad del plasma puede ser diferente en un punto en el volumen de la cámara de tratamiento, ya que la superficie de resonancia varía en función de la frecuencia.

65 Por ejemplo, para los aplicadores coaxiales que utilizan imanes permanentes, estando estos situados generalmente en el extremo de los aplicadores descritos anteriormente, la zona de resonancia se alejará del dispositivo de aplicación de plasma si disminuye la frecuencia (ya que el campo magnético también

disminuye al alejarse del dispositivo de aplicación), permitiendo de este modo aumentar la superficie de creación activa (especies excitadas, especies ionizadas, radicales...). Por el contrario, la superficie de creación puede disminuir al aumentar la frecuencia, permitiendo de este modo concentrar la zona de creación cercana al dispositivo de aplicación y por tanto aumentar la densidad del plasma localmente, aunque esto también aumente las pérdidas en la fuente elemental.

La invención se refiere a un procedimiento de tratamiento por microondas de una carga, tal como el que se define en la reivindicación 1, y que comprende las siguientes etapas:

- generar por lo menos una onda electromagnética en el campo de las microondas mediante por lo menos un generador del tipo de estado sólido;
- guiar la o cada onda electromagnética con destino a por lo menos un dispositivo de aplicación de la onda electromagnética;
- aplicar, mediante el o cada dispositivo de aplicación, la o cada onda electromagnética sobre la carga;
- una etapa de ajuste automatizado de la frecuencia de la o cada onda electromagnética con el fin de minimizar la potencia reflejada $P_{R(i)}$ en el o en cada dispositivo de aplicación para garantizar una adaptación de impedancia que permite optimizar la transferencia de la o cada onda electromagnética con destino a la carga, de manera automática y en tiempo real, con las siguientes etapas:

p1) medir, para el o para cada dispositivo de aplicación, la potencia reflejada $P_{R(i)}$ por el dispositivo de aplicación correspondiente; y

p2) controlar la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda electromagnética producida por el o por cada generador, hasta que la potencia reflejada $P_{R(i)}$ medida en el o en cada dispositivo de aplicación alcance un mínimo, de manera que la frecuencia $f_{(i)}$ varía hasta encontrar un mínimo de la potencia reflejada $P_{R(i)}$;

caracterizado por que el procedimiento prescinde de adaptador de impedancia para realizar dicha adaptación de impedancia.

Las etapas p1) y p2) automáticas están particularmente adaptadas para el control de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ que permite la adaptación de impedancia.

Según una posibilidad de la invención, la etapa de generación consiste en generar por lo menos dos ondas electromagnéticas mediante por lo menos dos generadores, la etapa de guiado consiste en guiar cada onda electromagnética con destino a por lo menos un dispositivo de aplicación, y la etapa de ajuste consiste en ajustar la frecuencia de cada onda electromagnética de manera independiente una con respecto a otra.

Según otra posibilidad de la divulgación que no se aplica a la invención, la etapa de generación consiste en generar N ondas electromagnéticas mediante N generadores, la etapa de guiado consiste en guiar las N ondas electromagnéticas con destino a N dispositivos de aplicación, en la que N es un número entero superior a 2, y la etapa de ajuste consiste en ajustar la frecuencia de cada onda electromagnética de manera independiente una con respecto a otra.

En una realización particular, existe, para el o para cada dispositivo de aplicación (i), un mínimo de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ medida con el fin realizar una adaptación de impedancia en el o en cada dispositivo de aplicación (i); siendo este mínimo eventualmente igual o cercano a cero, y cabe recordar que puede fijarse a un valor de potencia umbral dado o bien a un porcentaje dado de la razón de la potencia reflejada con respecto a la potencia incidente.

Así, en esta realización, el procedimiento se refiere a minimizar la potencia reflejada $P_{R(i)}$ en cada dispositivo de aplicación (i) con el fin realizar la adaptación de impedancia.

El documento EP-A2-1643641 da a conocer un procedimiento de tratamiento por microondas en una cámara de grabado mediante producción de un plasma que utiliza un generador de estado sólido para excitar el plasma, con el empleo de un amplificador en la línea de transmisión de la onda. Una unidad de funcionamiento pone en práctica, en base a una medición, entre otras cosas, de la potencia reflejada por la cámara, un control de la frecuencia de oscilación del generador con el objetivo de cambiar el nivel de amplificación del amplificador. Este documento describe la posibilidad de realizar automáticamente una adaptación de impedancia a través de un adaptador "matching unit" (unidad coincidente) habitual.

El documento JP2011023356 da a conocer un procedimiento de tratamiento por RF en una cámara de tratamiento mediante producción de un plasma que utiliza un generador de radiofrecuencia para excitar el

plasma. Se pone en práctica un control de la frecuencia de oscilación del generador en base a una medición de la potencia reflejada por la cámara. Este control de frecuencia permite realizar una adaptación de impedancia prescindiendo del adaptador de impedancia.

5 Otras características y ventajas, que en ocasiones no se aplican a la presente invención, se desprenderán de la lectura de la siguiente descripción detallada de varios ejemplos de puesta en práctica no limitativos, realizada en referencia a las figuras adjuntas, en las que:

- 10 - la figura 1, ya comentada, es una vista esquemática en perspectiva y en sección parcial de un reactor para una instalación de tratamiento por microondas mediante producción de plasma conocida;
- la figura 2, ya comentada, es una vista esquemática parcial de una instalación de tratamiento por microondas mediante producción de plasma conocida;
- 15 - la figura 3, ya comentada, es una vista esquemática parcial de otra instalación de tratamiento por microondas mediante producción de plasma conocida;
- la figura 4, ya comentada, es una vista esquemática parcial de otra instalación de tratamiento por microondas mediante producción de plasma conocida;
- 20 - la figura 5 es una vista esquemática de una primera instalación de tratamiento por microondas;
- la figura 6 es una vista esquemática de una segunda instalación de tratamiento por microondas;
- 25 - la figura 7 es una vista esquemática de una tercera instalación de tratamiento por microondas;
- la figura 8 es una vista esquemática de una cuarta instalación de tratamiento por microondas;
- 30 - la figura 9 es una vista esquemática de una quinta instalación de tratamiento por microondas;
- la figura 10 es una vista esquemática de una sexta instalación de tratamiento por microondas;
- la figura 11 es una vista esquemática de una séptima instalación de tratamiento por microondas; y
- 35 - la figura 12 es una vista esquemática de una octava instalación de tratamiento por microondas.

La siguiente descripción se refiere a una instalación 1 de tratamiento por microondas sobre una carga del tipo plasma, dicho de otro modo una instalación de producción de un plasma en una cámara de tratamiento. Evidentemente, puede concebirse poner en práctica la instalación 1 para otras aplicaciones, por ejemplo, con una cámara de tratamiento del tipo reactor químico que contiene un producto sólido, líquido y/o gaseoso que va a tratarse por microondas, o bien en el contexto de un tratamiento médico mediante aplicación de una radiación de microondas sobre una parte del cuerpo que va a tratarse.

45 En un primer modo de realización ilustrado en la figura 5, la instalación 1 de producción de plasma comprende:

- un reactor 2 que presenta una cámara de tratamiento 20 en cuyo volumen se produce el plasma;
- 50 - una fuente elemental 3 de plasma que comprende un dispositivo de aplicación 30 en el interior de la cámara de tratamiento 20 de una onda electromagnética en el campo de las microondas, así como un sistema de medición 31 de la potencia reflejada por el dispositivo de aplicación 30;
- un generador 4 de onda electromagnética en el campo de las microondas, del tipo de estado sólido, conectado al dispositivo de aplicación 30 mediante unos medios de guiado 5 de la energía electromagnética, comprendiendo el generador 4 un sistema de ajuste de frecuencia 40 diseñado para ajustar la frecuencia de la onda entre aproximadamente 2400 y 2500 MHz, incluso en otro intervalo de frecuencia predeterminado; y
- 55 - un controlador 6 unido en la entrada al sistema de medición 31 y en la salida al sistema de ajuste de frecuencia 40.
- 60

Para la siguiente descripción y otros modos de realización:

- 65 - el o cada dispositivo de aplicación 30 es del tipo aplicador coaxial, pero la divulgación no se limita a un aplicador coaxial de este tipo y pueden concebirse otros tipos de dispositivos de aplicación de una potencia de microondas, como por ejemplo un tubo de descarga (surfatrón, cavidad Evenson, fuente

aguas abajo, antorcha de plasma semimetálica, tubo dieléctrico, etc.), una antena, una guía de ondas con una ventana dieléctrica, etc.

- 5 - el o cada generador 4 es del tipo generador de onda electromagnética de estado sólido, también denominado generador con transistor, que presenta la ventaja permitir un control de la frecuencia de la onda electromagnética, de manera manual o automática, en su intervalo de frecuencia de funcionamiento (a diferencia de un magnetrón);
- 10 - el o cada medio de guiado 5 se realiza en forma de un cable coaxial particularmente bien adaptado para una conexión directa a un generador 4 de estado sólido, aunque puedan concebirse otras formas de medio de guiado, como por ejemplo guías de ondas.

15 El sistema de medición 31 puede estar constituido por un aislante que combina un circulador y una carga. Cuando la fuente elemental emite potencia reflejada, el circulador desvía esta potencia a la carga. Mediante acoplamiento, una fracción de esta potencia se extrae y se mide. Al conocer la fracción extraída (o coeficiente de atenuación), se deduce la potencia reflejada. El sistema de medición también puede ser un sistema de medición de los parámetros S y en particular el S_{1,1}.

20 El controlador 6 está diseñado para los seis modos de funcionamiento.

En un primer modo de funcionamiento, el controlador 6:

- recibe en la entrada la medición de potencia reflejada P_{RM} procedente del sistema de medición 31;
- 25 - controla (o hace variar) la frecuencia f de la onda electromagnética producida por el generador 4 hasta que la potencia reflejada P_R medida por el dispositivo de aplicación alcance sustancialmente un primer valor de referencia V_R .

30 Dicho de otro modo, el controlador 6 encuentra la frecuencia f para la que la potencia reflejada P_R es equivalente al primer valor de referencia V_R ; pudiendo este primer valor de referencia V_R fijarse sustancialmente a un valor nulo, o por lo menos al valor mínimo accesible, con el fin realizar una adaptación de impedancia entre el plasma y la fuente elemental 3.

35 En un segundo modo de funcionamiento, el controlador 6:

- recibe en la entrada la medición de potencia reflejada P_R procedente del sistema de medición 31;
- recibe en la entrada el valor de la potencia incidente P_{IN} en la fuente, procediendo este valor del generador 4 al que está unido el controlador 6;
- 40 - calcula un valor de consigna VC_R de la potencia reflejada P_R correspondiente a una potencia transmitida P_T igual a un segundo valor de referencia V_T , es decir $VC_R = P_{IN} - V_T$;
- 45 - controla (o hace variar) la frecuencia f de la onda electromagnética producida por el generador 4 hasta que la potencia reflejada P_R medida por el dispositivo de aplicación alcance sustancialmente el valor de consigna VC_R .

50 Así, se realiza una realimentación de la potencia reflejada P_R al valor de consigna VC_R para ajustar la potencia transmitida P_T al segundo valor de referencia V_T . Dicho de otro modo, el controlador 6 encuentra la frecuencia f para la que $P_T = V_T$.

En un tercer modo de funcionamiento, el controlador 6:

- 55 - recibe en la entrada la medición de potencia reflejada P_R procedente del sistema de medición 31;
- recibe en la entrada el valor de la potencia incidente P_{IN} en la fuente, procediendo este valor del generador 4 al que está unido el controlador 6;
- 60 - controla (o hace variar) al mismo tiempo la frecuencia f y la potencia incidente P_{IN} hasta que la potencia reflejada P_R medida por el dispositivo de aplicación alcance sustancialmente un primer valor de referencia V_R .

65 Dicho de otro modo, el controlador 6 encuentra un par (frecuencia f , potencia incidente P_{IN}) para el que la potencia reflejada P_R es equivalente al primer valor de referencia V_R .

Por ejemplo, para que la potencia reflejada P_R alcance un primer valor de referencia V_R sustancialmente nulo,

puede considerarse que, en un primer momento, el controlador 6 busca una frecuencia para la que la potencia reflejada P_R es mínima pero siempre superior a cero y, en un segundo momento, el controlador 6 busca la potencia incidente P_{IN} para la que la potencia reflejada P_R es sustancialmente igual a cero; poniéndose en práctica el ajuste de la potencia incidente P_{IN} sólo si no se llega a alcanzar el primer valor de referencia V_R actuando únicamente sobre la frecuencia.

En un cuarto modo de funcionamiento, el controlador 6:

- recibe en la entrada la medición de potencia reflejada P_R procedente del sistema de medición 31;
- recibe en la entrada el valor de la potencia incidente P_{IN} en la fuente, procediendo este valor del generador 4 al que está unido el controlador 6;
- controla (o hace variar) al mismo tiempo la frecuencia f y la potencia incidente P_{IN} hasta que la potencia transmitida $P_T = P_{IN} - P_R$ sea sustancialmente igual a un segundo valor de referencia V_T .

Dicho de otro modo, el controlador 6 encuentra un par (frecuencia f , potencia incidente P_{IN}) para el que $P_T = V_T$. Por ejemplo, para que la potencia transmitida P_T alcance el segundo valor de referencia V_T , puede considerarse que, en un primer momento, el controlador 6 busca una frecuencia para la que la potencia transmitida P_T se aproxima lo más posible al segundo valor de referencia V_T (sin buscar minimizar la potencia reflejada P_R) y, en un segundo momento, el controlador 6 busca la potencia incidente P_{IN} para la que la potencia transmitida P_T es igual al segundo valor de referencia V_T ; poniéndose en práctica el ajuste de la potencia incidente P_{IN} sólo si no se llega a alcanzar el segundo valor de referencia V_T actuando únicamente sobre la frecuencia.

En un quinto modo de funcionamiento, el controlador 6:

- recibe en la entrada la medición de potencia reflejada P_{RM} procedente del sistema de medición 31;
- recibe en la entrada el valor de la potencia incidente P_{IN} en la fuente, procediendo este valor del generador 4 al que está unido el controlador 6;
- controla (o hace variar) la frecuencia f hasta que la potencia reflejada P_R alcance sustancialmente un primer valor de referencia V_R , preferentemente hasta que la potencia reflejada P_R alcance un mínimo;
- controla (o hace variar) la potencia incidente P_{IN} hasta que la potencia transmitida $P_T = P_{IN} - P_R$ sea sustancialmente igual a un segundo valor de referencia V_T .

Dicho de otro modo, el controlador 6 encuentra un par (frecuencia f , potencia incidente P_{IN}) para el que $P_R = V_R$ ($P_R =$ mínimo accesible) y $P_T = V_T$. Para la etapa de control de la frecuencia, puede considerarse que el controlador 6 parte de la frecuencia inicial, y después haga variar la frecuencia f del lado en el que la potencia reflejada P_R disminuye hasta que encuentra un mínimo.

En un sexto modo de funcionamiento, la instalación es de producción de plasma en la resonancia ciclotrónica electrónica (RCE). En este caso, la fuente elemental 3 comprende además una estructura magnética (no ilustrada) diseñada para generar un campo magnético de resonancia que, combinado con la onda electromagnética, permite producir un plasma en la resonancia ciclotrónica electrónica (RCE).

En este sexto modo de funcionamiento, el controlador 6:

- calcula una consigna de frecuencia $C_{f(i)}$, para el o para cada sistema de ajuste de frecuencia 40, correspondiente a un valor predeterminado de la superficie de resonancia de la o de cada fuente elemental 3 de plasma; y
- controla, para cada fuente elemental 3, el sistema de ajuste de frecuencia 40 en cuestión para realimentar la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda electromagnética producida por el o por cada generador 4 al valor de consigna $C_{f(i)}$ correspondiente con el fin de que la superficie de resonancia de la o de cada fuente elemental 3 de plasma alcance el valor predeterminado correspondiente.

En un segundo modo de realización ilustrado en la figura 6, la instalación 1 de producción de plasma es idéntica a la del primer modo de realización de la figura 5, con la diferencia de que comprende además un adaptador de impedancia 7 dispuesto aguas arriba del aplicador 30.

Este adaptador de impedancia 7 permite de este modo realizar una primera adaptación de impedancia, eventualmente media, con un ajuste de manera previa al funcionamiento, antes de que el controlador 6 pueda realizar una segunda adaptación de impedancia fina y/o un ajuste de la potencia transmitida, automático y en

tiempo real durante el funcionamiento, en particular poniendo en práctica los modos de funcionamiento descritos anteriormente.

5 En un tercer modo de realización ilustrado en la figura 7, la instalación 1 de producción de plasma comprende:

- un reactor 2 que presenta una cámara de tratamiento 20 en cuyo volumen se produce el plasma;
- 10 - varias fuentes elementales 3 de plasma que comprenden cada una un aplicador 30 en el interior de la cámara de tratamiento 20 de una onda electromagnética en el campo de las microondas, así como un sistema de medición 31 de la potencia reflejada por el dispositivo de aplicación 30 correspondiente;
- 15 - un generador 4 de onda electromagnética en el campo de las microondas, del tipo de estado sólido, conectado a los aplicadores 30 mediante cables coaxiales 5, comprendiendo el generador 4 un sistema de ajuste de frecuencia 40 diseñado para ajustar la frecuencia de la onda entre aproximadamente 2400 y 2500 MHz, incluso en otro intervalo de frecuencia predeterminado; y
- 20 - un controlador 6 unido en la entrada al sistema de medición 31 y en la salida al sistema de ajuste de frecuencia 40; y
- 25 - un divisor de potencia 8 dispuesto en la salida del generador 4 y diseñado para dividir la potencia de microondas generada por el generador 4 entre el número k de fuentes elementales 3, presentando el divisor de potencia $8/k$ salidas conectadas cada una a un aplicador 30 mediante un cable coaxial 5, extrayendo de este modo cada salida del divisor de potencia $8/k$ de la potencia total suministrada por el generador 4 con destino a un aplicador 30.

El controlador 6 está diseñado para poner en práctica los seis modos de funcionamiento descritos anteriormente, con la diferencia de que un solo generador 4 está asociado a varias fuentes elementales 3. Así, el controlador 6 puede:

- 30 - en el primer modo de funcionamiento: realizar un ajuste de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ en cada fuente elemental (i) actuando sobre la frecuencia f de la onda generada por el generador 4 común, preferentemente para una adaptación de impedancia;
- 35 - en el segundo modo de funcionamiento: realizar un ajuste de la potencia transmitida $P_{T(i)}$ en cada fuente elemental (i) actuando sobre la frecuencia f de la onda generada por el generador 4 común;
- 40 - en el tercer modo de funcionamiento: realizar un ajuste de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ en cada fuente elemental (i) actuando sobre la frecuencia f de la onda generada por el generador 4 común y sobre la potencia incidente $P_{IN(i)}$ en la fuente (i), sabiendo que la potencia incidente $P_{IN(i)}$ para la fuente (i) corresponde a una fracción de la potencia P_{GEN} del generador 4 después de la división de potencia realizada por el divisor 8;
- 45 - en el cuarto modo de funcionamiento: realizar un ajuste de la potencia transmitida $P_{T(i)}$ en cada fuente elemental (i) actuando sobre la frecuencia f de la onda generada por el generador 4 común y sobre la potencia incidente $P_{IN(i)}$ en la fuente (i) (fracción de la potencia P_{GEN} del generador 4);
- 50 - en el quinto modo de funcionamiento: realizar, para cada fuente (i), un ajuste de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ y un ajuste de la potencia transmitida $P_{T(i)}$ actuando sobre la frecuencia f de la onda generada por el generador 4 común y sobre la potencia incidente $P_{IN(i)}$ en la fuente (i) (fracción de la potencia P_{GEN} del generador 4); y
- 55 - en el sexto modo de funcionamiento: realizar un control de la superficie de resonancia, en las zonas de creación asociadas a las fuentes elementales (i), actuando sobre la frecuencia f de la onda generada por el generador 4 común.

60 Evidentemente, esta instalación presenta una limitación debido al hecho de que el generador 4 alimenta varias fuentes elementales 3, de manera que las potencias reflejadas $P_{R(i)}$ medidas en los diferentes aplicadores 30 no alcanzarán todas exactamente el mismo primer valor de referencia $V_{R(i)}$, ya que puede existir una dispersión entre los aplicadores 30 y, además, las fuentes elementales 3 pueden interactuar entre ellas. No obstante, el controlador 6 permite ajustar globalmente y de media la potencia reflejada y/o la potencia transmitida, así como la superficie de resonancia, en todas las fuentes elementales 3, actuando sobre la frecuencia f , y eventualmente la potencia P_{GEN} , de la onda generada por el único generador 4.

65 Sin embargo, en teoría, si los aplicadores 30 son idénticos, o de manera más exacta, si las líneas de microondas entre el generador 4 y cada fuente 3 son idénticas, y si la división de la potencia realizada por el

divisor 8 es equitativa sea cual sea la frecuencia f , y si las condiciones de funcionamiento son idénticas en el extremo de cada aplicador 30 (dicho de otro modo si el plasma es uniforme cerca de los aplicadores 30) entonces la frecuencia f puede ser idéntica en cada una de las fuentes 3 con el fin realizar la adaptación de impedancia y/o el ajuste de potencia transmitida y/o el control de las superficies de resonancia.

5

En un cuarto modo de realización ilustrado en la figura 8, la instalación 1 de producción de plasma es idéntica a la del tercer modo de realización de la figura 7, con la diferencia de que comprende además un adaptador de impedancia 7 dispuesto entre el generador 4 y el divisor de potencia 8.

10

Este adaptador de impedancia 7 permite de este modo realizar una primera adaptación de impedancia, eventualmente media, con un ajuste de manera previa al funcionamiento, antes de que el controlador 6 pueda realizar una segunda adaptación de impedancia para el conjunto de las fuentes elementales 3, de manera automática y en tiempo real durante el funcionamiento. De manera general, el controlador 6 está diseñado para poner en práctica los seis modos de funcionamiento descritos anteriormente, con la diferencia de que se realiza una adaptación de impedancia común al conjunto de las fuentes 3 con el adaptador de impedancia 7 común.

15

20

En un quinto modo de realización ilustrado en la figura 9, la instalación 1 de producción de plasma es idéntica a la del tercer modo de realización de la figura 7, con la diferencia de que comprende además varios adaptadores de impedancia 7 dispuestos entre el divisor de potencia 8 y los aplicadores 30, con un adaptador de impedancia 7 por cada aplicador 30.

25

Estos adaptadores de impedancia 7 permiten de este modo realizar una primera adaptación de impedancia, eventualmente media, para cada fuente elemental 3, con un ajuste de manera previa al funcionamiento. A continuación, el controlador 6 permite realizar una segunda adaptación de impedancia para el conjunto de las fuentes elementales 3, de manera automática y en tiempo real durante el funcionamiento. De manera general, el controlador 6 está diseñado para poner en práctica los seis modos de funcionamiento descritos anteriormente, con la diferencia de que puede realizarse una adaptación de impedancia individual para cada fuente 3 con cada adaptador de impedancia 7, y esto de manera independiente de una fuente 3 a otra. De esta manera, es posible compensar diferencias entre los aplicadores 30 (o de manera más exacta entre las líneas de microondas entre el generador 4 y cada fuente 3), desigualdades en la división de potencia realizada por el divisor 8, y faltas de homogeneidad del plasma en el extremo de los aplicadores 30.

30

35

En un sexto modo de realización ilustrado en la figura 10, la instalación 1 de producción de plasma comprende:

40

- un reactor 2 que presenta una cámara de tratamiento 20 en cuyo volumen se produce el plasma;
- varias fuentes elementales 3 de plasma que comprenden cada una un aplicador 30 en el interior de la cámara de tratamiento 20 de una onda electromagnética en el campo de las microondas, así como un sistema de medición 31 de la potencia reflejada por el dispositivo de aplicación 30 correspondiente; y
- varios generadores 4 de onda electromagnética en el campo de las microondas, del tipo de estado sólido, cada uno conectado a un aplicador 30 mediante un cable coaxial 5, con un generador 4 por fuente elemental 3, comprendiendo cada generador 4 un sistema de ajuste de frecuencia 40 diseñado para ajustar la frecuencia de la onda entre aproximadamente 2400 y 2500 MHz, incluso en otro intervalo de frecuencia predeterminado; y
- un controlador 6 conectado en la entrada a los sistemas de medición 31 de las diferentes fuentes elementales 3 y en la salida a los sistemas de ajuste de frecuencia 40 de los diferentes generadores 4.

45

50

El controlador 6 está diseñado para poner en práctica los seis modos de funcionamiento descritos anteriormente, con la diferencia de que a cada generador 4 se asocia una única fuente elemental 3. Así, el controlador 6 puede:

55

- en el primer modo de funcionamiento: realizar un ajuste de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ en cada fuente elemental (i) (de manera independiente de una fuente a otra) actuando sobre la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda generada por el generador 4 asociado, preferentemente para una adaptación de impedancia;
- en el segundo modo de funcionamiento: realizar un ajuste de la potencia transmitida $P_{T(i)}$ en cada fuente elemental (i) (de manera independiente de una fuente a otra) actuando sobre la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda generada por el generador 4 asociado;
- en el tercer modo de funcionamiento: realizar un ajuste de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ en cada fuente elemental (i) actuando sobre la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda generada por el generador 4 asociado y sobre la potencia incidente $P_{N(i)}$ en la fuente (i) (de manera independiente de una fuente a otra), sabiendo

60

65

que la potencia incidente $P_{IN(i)}$ para la fuente (i) corresponde sustancialmente a la potencia $P_{GEN(i)}$ del generador 4 asociado, con una precisión de las pérdidas de líneas (de manera que actuar sobre la potencia incidente $P_{IN(i)}$ en la fuente (i) equivale a actuar sobre la potencia $P_{GEN(i)}$ del generador 4 asociado);

- 5 - en el cuarto modo de funcionamiento: realizar un ajuste de la potencia transmitida $P_{T(i)}$ en cada fuente elemental (i) (de manera independiente de una fuente a otra) actuando sobre la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda generada por el generador 4 asociado y sobre la potencia incidente $P_{IN(i)}$ en la fuente (i) (y por tanto sobre la potencia $P_{GEN(i)}$ del generador 4 asociado);
- 10 - en el quinto modo de funcionamiento: realizar, para cada fuente (i), un ajuste de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ y un ajuste de la potencia transmitida $P_{T(i)}$ actuando sobre la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda generada por el generador 4 asociado y sobre la potencia incidente $P_{IN(i)}$ en la fuente (i) (y por tanto sobre la potencia $P_{GEN(i)}$ del generador 4 asociado); y
- 15 - en el sexto modo de funcionamiento: realizar un control de la superficie de resonancia, y por tanto de las zonas de creación asociadas a cada fuente elemental (i) (de manera independiente de una fuente a otra), actuando sobre la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda generada por el generador 4 asociado.

20 Así, el controlador 6 controla los sistemas de ajuste de frecuencia 31 (control de la frecuencia) y los generadores 4 (control de la potencia incidente) de manera independiente unos con respecto a otros.

Por ejemplo, en el primer modo de funcionamiento (ajuste de la potencia reflejada), para la primera fuente elemental 3 se mide una primera potencia reflejada $P_{R(1)}$, y el controlador 6 encuentra una primera frecuencia $f_{(1)}$ para el primer generador 4 que permite que esta potencia reflejada $P_{R(1)}$ alcance un primer valor de referencia $V_{R(1)}$, por ejemplo nulo o por lo menos mínimo. El ajuste de la potencia reflejada $P_{R(1)}$ mediante variación de la frecuencia del primer generador 4 se realiza según un primer bucle de realimentación que afecta únicamente a la primera fuente elemental 3 y al primer generador 4.

30 Asimismo, para la segunda fuente elemental 3 se mide una segunda potencia reflejada $P_{R(2)}$, y el controlador 6 encuentra una segunda frecuencia $f_{(2)}$ para el segundo generador 4 que permite que esta potencia reflejada $P_{R(2)}$ alcance un segundo valor de referencia $V_{R(2)}$, por ejemplo nulo o por lo menos mínimo. El ajuste de la potencia reflejada $P_{R(2)}$ mediante variación de la frecuencia del segundo generador 4 se realiza según un segundo bucle de realimentación que afecta únicamente a la segunda fuente elemental 3 y al segundo generador 4.

Esta instalación presenta la ventaja, con respecto a los modos de realización tercero, cuarto y quinto, de realizar el ajuste de la potencia (adaptación de impedancia) y/o el ajuste de potencia transmitida y/o el control de las superficies de resonancia para cada fuente elemental 3, de manera independiente una con respecto a otra. Esta instalación permite de este modo controlar la potencia transmitida a cada fuente elemental 3, siempre de manera independiente una con respecto a otra, por ejemplo con el fin de una homogeneización del plasma, actuando sobre las frecuencias de cada generador 4, de manera independiente una con respecto a otra.

45 En un séptimo modo de realización ilustrado en la figura 11, la instalación 1 de producción de plasma es idéntica a la del sexto modo de realización de la figura 10, con la diferencia de que comprende además varios adaptadores de impedancia 7 dispuesto entre los generadores 4 y los aplicadores 30, con un adaptador de impedancia 7 por cada aplicador 30.

50 Estos adaptadores de impedancia 7 permiten de este modo realizar una primera adaptación de impedancia, eventualmente media, para cada fuente elemental 3, con un ajuste de manera previa al funcionamiento. A continuación, el controlador 6 permite poner en práctica los seis modos de funcionamiento descritos anteriormente, como por ejemplo realizar una segunda adaptación de impedancia fina para cada fuente elemental 3 (modos de funcionamiento primero, tercero y quinto), de manera independiente, automática y en tiempo real durante el funcionamiento para cada fuente elemental 3.

60 En un octavo modo de realización ilustrado en la figura 12, la instalación 1 de producción de plasma comprende una primera subinstalación según el tercer modo de realización de la figura 7, y una segunda subinstalación también según el tercer modo de realización de la figura 7, en las que los aplicadores 30 de las dos subinstalaciones están dispuestos en el interior de una misma cámara de tratamiento 20 de un mismo reactor 2.

Así, la primera subinstalación comprende:

- 65 - varias fuentes elementales 3 de plasma que comprenden cada una un aplicador 30 en el interior de la cámara de tratamiento 20 y un sistema de medición 31 de la potencia reflejada por el dispositivo de

aplicación 30 correspondiente;

- 5 - un generador 4 de onda electromagnética en el campo de las microondas, conectado a los aplicadores 30 mediante cables coaxiales 5, comprendiendo el generador 4 un sistema de ajuste de frecuencia 40 diseñado para ajustar la frecuencia de la onda entre aproximadamente 2400 y 2500 MHz, incluso en otro intervalo de frecuencia predeterminado; y
- 10 - un divisor de potencia 8 dispuesto en la salida del generador 4 y que presenta k salidas conectadas cada una a un aplicador 30 mediante un cable coaxial 5, extrayendo de este modo cada salida del divisor de potencia $8 \frac{1}{k}$ de la potencia total suministrada por el generador 4 con destino a un aplicador 30.

Así, la segunda subinstalación comprende:

- 15 - varias fuentes elementales 3 de plasma que comprenden cada una un aplicador 30 en el interior de la misma cámara de tratamiento 20 y un sistema de medición 31 de la potencia reflejada por el dispositivo de aplicación 30 correspondiente;
- 20 - un generador 4 de onda electromagnética en el campo de las microondas, del tipo de estado sólido, conectado a los aplicadores 30 mediante cables coaxiales 5, comprendiendo el generador 4 un sistema de ajuste de frecuencia 40 diseñado para ajustar la frecuencia de la onda entre aproximadamente 2400 y 2500 MHz, incluso en otro intervalo de frecuencia predeterminado; y
- 25 - un divisor de potencia 8 dispuesto en la salida del generador 4 y que presenta m salidas (en el que m no es necesariamente igual a k) conectadas cada una a un aplicador 30 mediante un cable coaxial 5, extrayendo de este modo cada salida del divisor de potencia $8 \frac{1}{m}$ de la potencia total suministrada por el generador 4 con destino a un aplicador 30.

30 Además, la instalación 1 comprende un controlador 6 conectado en la entrada a los sistemas de medición 31 de todas las fuentes elementales 3, y en la salida a los sistemas de ajuste de frecuencia 40 de los dos generadores 4.

35 Evidentemente, puede considerarse prever en una y/u otra de las dos subinstalaciones un adaptador de impedancia por cada generador (como en el caso del cuarto modo de realización de la figura 8) o un adaptador de impedancia por cada aplicador (como en el caso del quinto modo de realización de la figura 8).

40 También puede concebirse añadir una nueva subinstalación, o sustituir una de las dos subinstalaciones por una nueva subinstalación, pudiendo esta nueva subinstalación ser del tipo de los modos de realización primero, segundo, sexto o séptimo, con un generador por cada aplicador. En este caso, la instalación siempre comprende un único controlador unido a los diferentes sistemas de medición 31 y a los diferentes sistemas de ajuste de frecuencia 40.

45 Evidentemente, el ejemplo de puesta en práctica mencionado anteriormente no presenta ningún carácter limitativo y pueden aportarse otras mejoras y detalles a la instalación según la invención, sin por ello salir del alcance de la invención en el que, por ejemplo, pueden realizarse otras formas de dispositivo de aplicación y/o de medios de guiado de la onda electromagnética.

La invención se define por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de tratamiento por microondas de una carga, que comprende las siguientes etapas:

- 5 - generar por lo menos una onda electromagnética en el campo de las microondas mediante por lo menos un generador (4) del tipo de estado sólido;
- guiar la o cada onda electromagnética con destino a por lo menos un dispositivo de aplicación (30) de la onda electromagnética;
- 10 - aplicar mediante el o mediante cada dispositivo de aplicación (30) la o cada onda electromagnética sobre la carga;
- una etapa de ajuste automatizado de la frecuencia de la o de cada onda electromagnética con el fin de minimizar la potencia reflejada $P_{R(i)}$ en el o en cada dispositivo de aplicación (30) para garantizar una adaptación de impedancia que permite optimizar la transferencia de la o de cada onda electromagnética con destino a la carga, de manera automática y en tiempo real, con las siguientes etapas:
- 15 p1) medir, para el o para cada dispositivo de aplicación (30), la potencia reflejada $P_{R(i)}$ por el dispositivo de aplicación (30) correspondiente; y
- p2) controlar la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda electromagnética producida por el o por cada generador (4), hasta que la potencia reflejada $P_{R(i)}$ medida en el o en cada dispositivo de aplicación (30) alcance un mínimo, de manera que la frecuencia $f_{(i)}$ varíe hasta encontrar un mínimo de la potencia reflejada $P_{R(i)}$;
- 20
- 25

caracterizado por que el procedimiento prescinde de adaptador de impedancia para realizar dicha adaptación de impedancia.

30 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de generación consiste en generar por lo menos dos ondas electromagnéticas mediante por lo menos dos generadores (4), la etapa de guiado consiste en guiar cada onda electromagnética con destino a por lo menos un dispositivo de aplicación (30), y la etapa de ajuste consiste en ajustar la frecuencia de cada onda electromagnética independientemente una de la otra.

35 3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, en el que el mínimo de la potencia reflejada $P_{R(i)}$ medida, para el o para cada dispositivo de aplicación (30), es igual o cercano a cero.

40 4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la frecuencia $f_{(i)}$ de la onda electromagnética producida por el o por cada generador (4) se ajusta en un intervalo de frecuencia elegido en el campo de las microondas, como por ejemplo en un intervalo de frecuencia comprendido entre aproximadamente 2400 y 2500 MHz, o por ejemplo entre aproximadamente 5725 y 5875 MHz, incluso en otro intervalo de frecuencia predeterminado que pertenece al campo de las microondas.

45

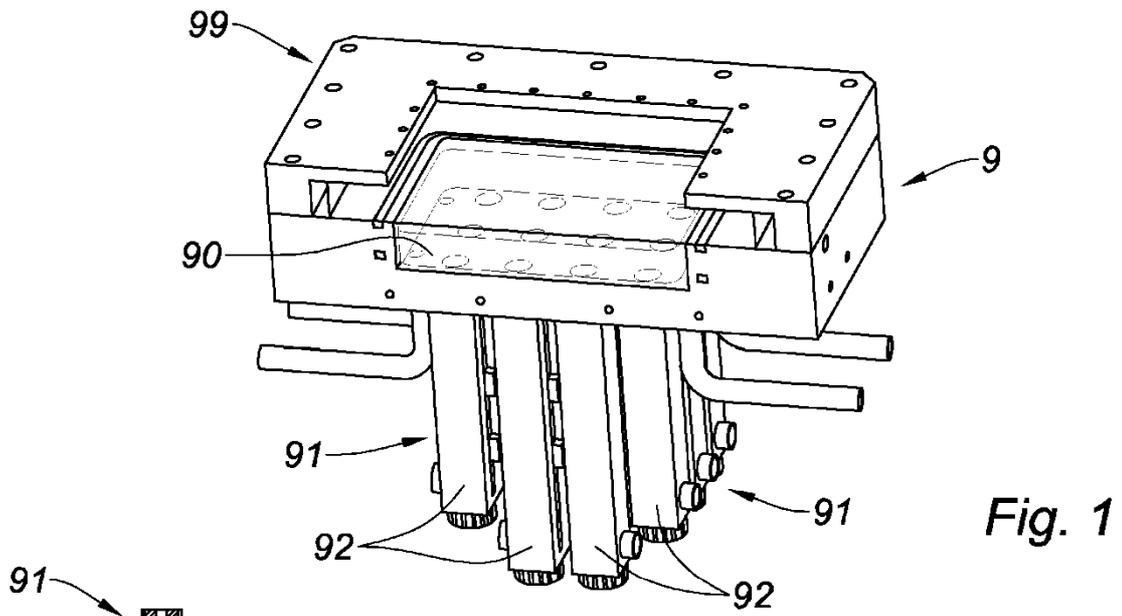


Fig. 1

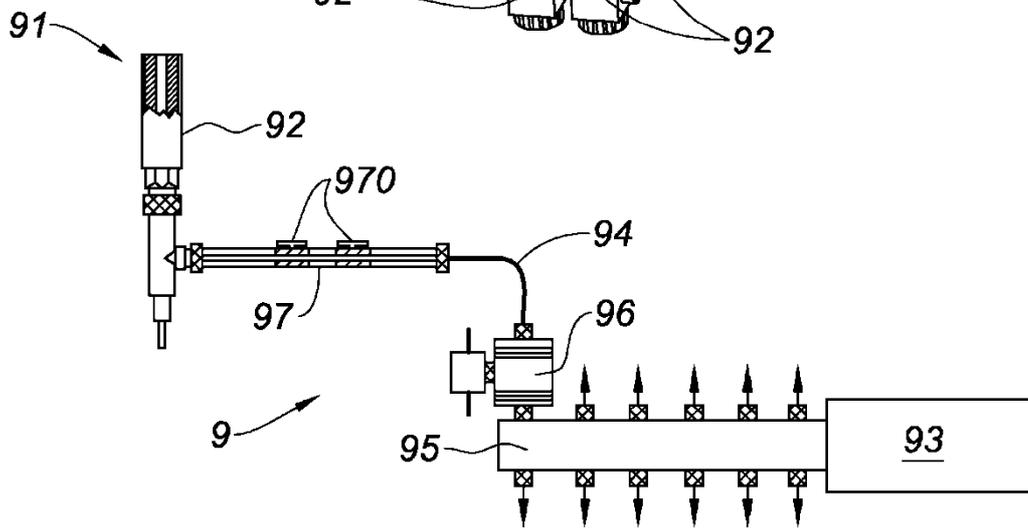


Fig. 2

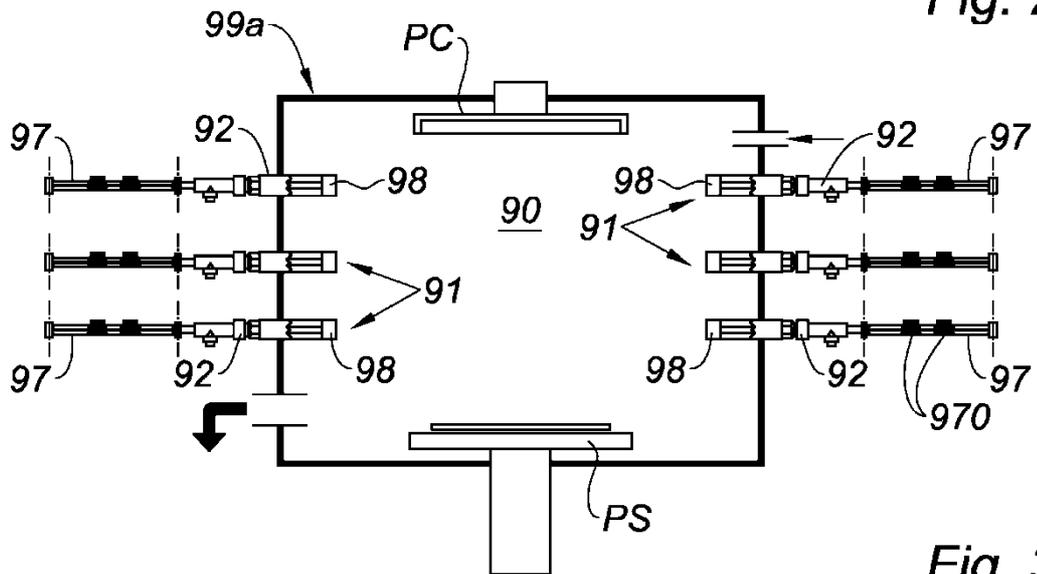


Fig. 3

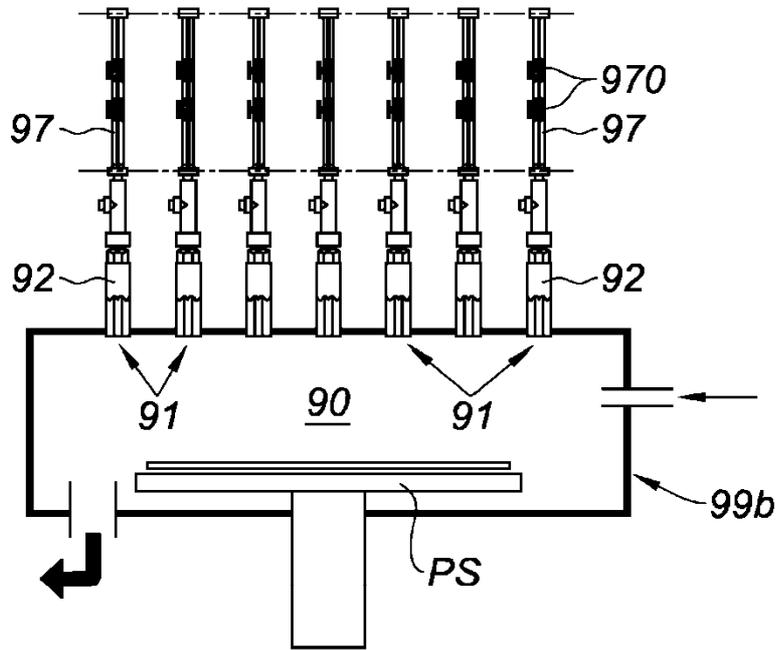


Fig. 4

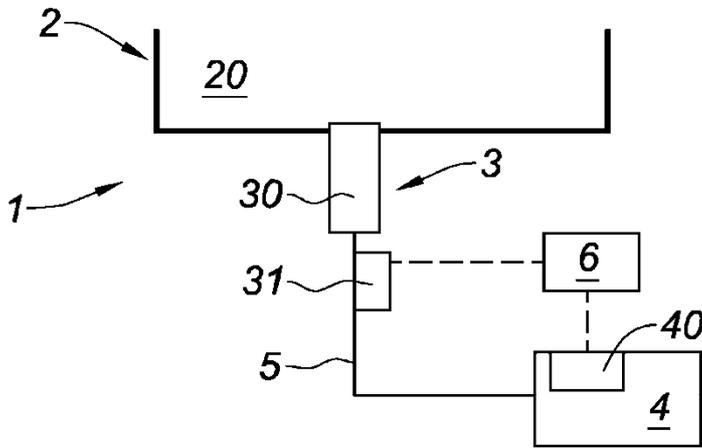


Fig. 5

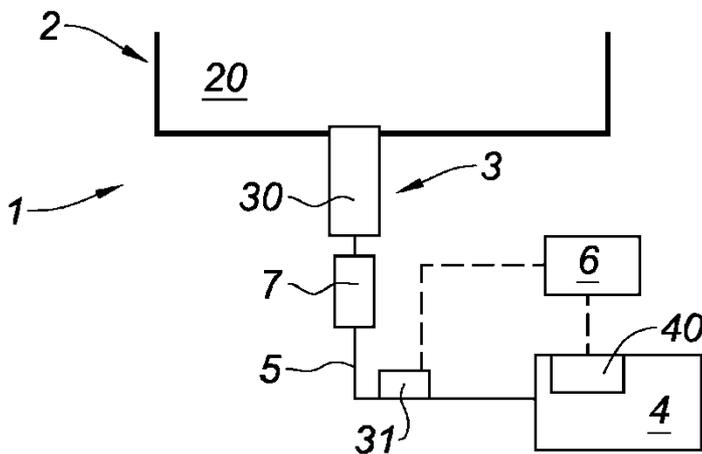


Fig. 6

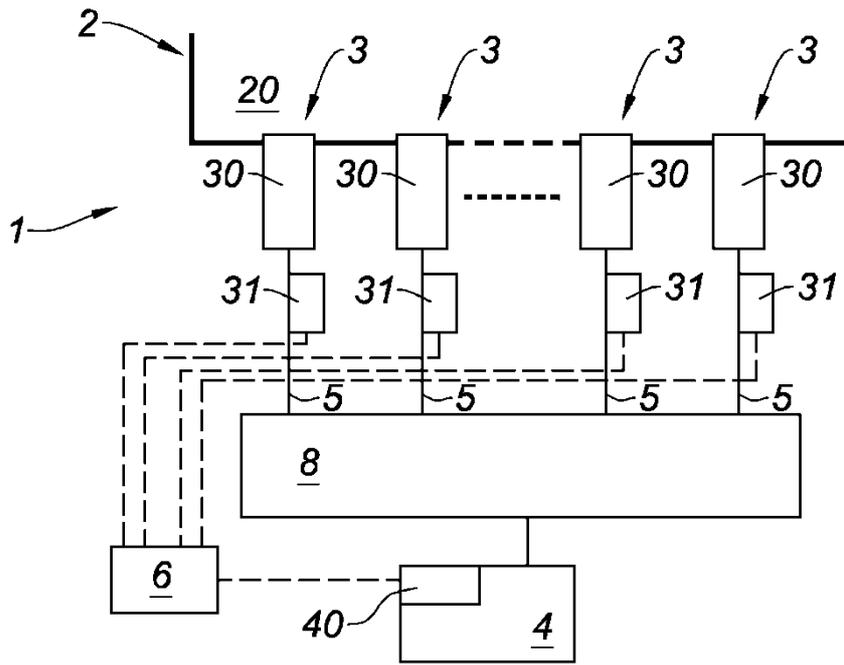


Fig. 7

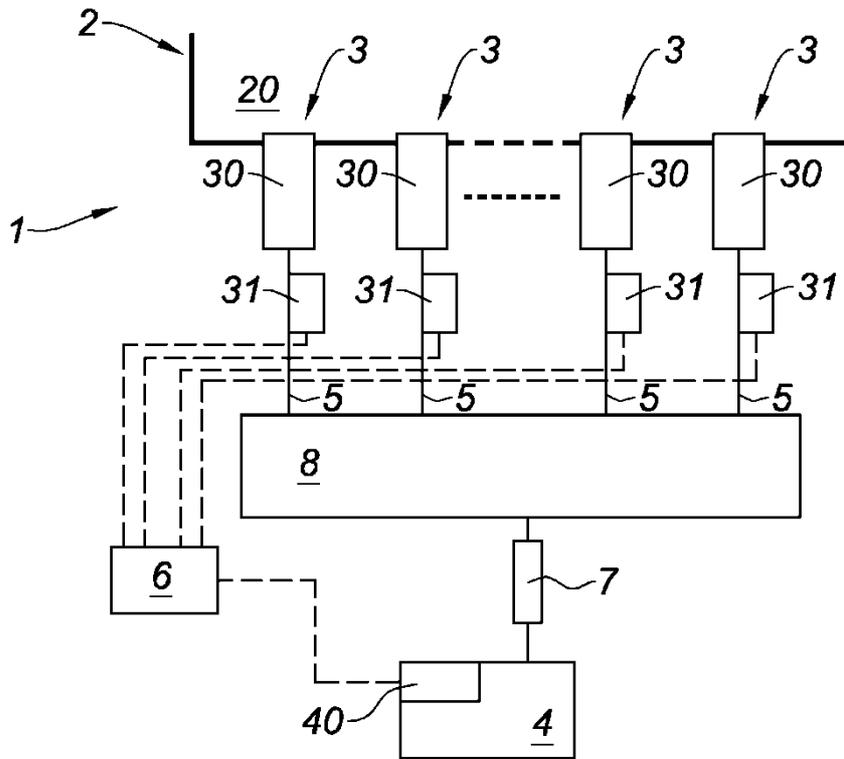


Fig. 8

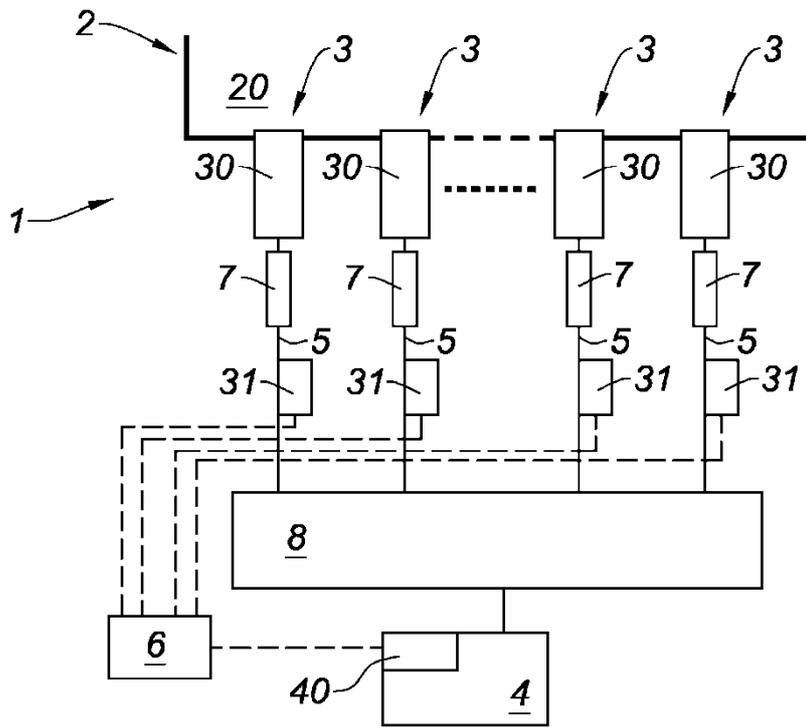


Fig. 9

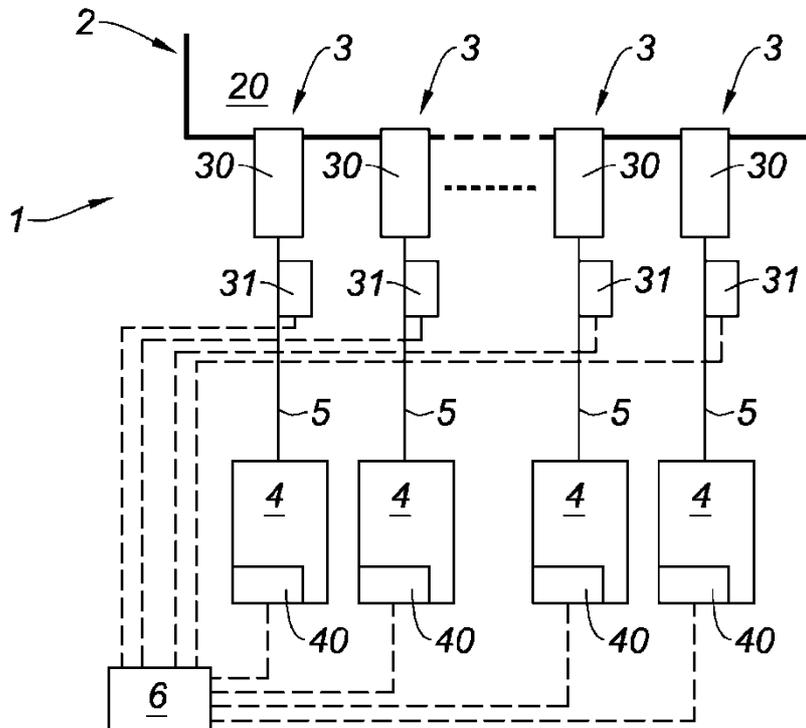


Fig. 10

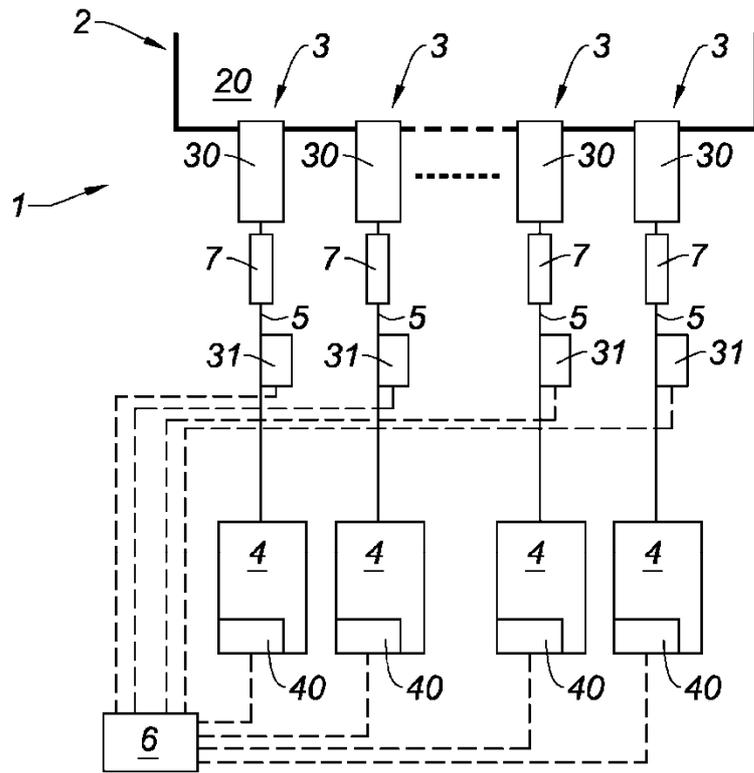


Fig. 11

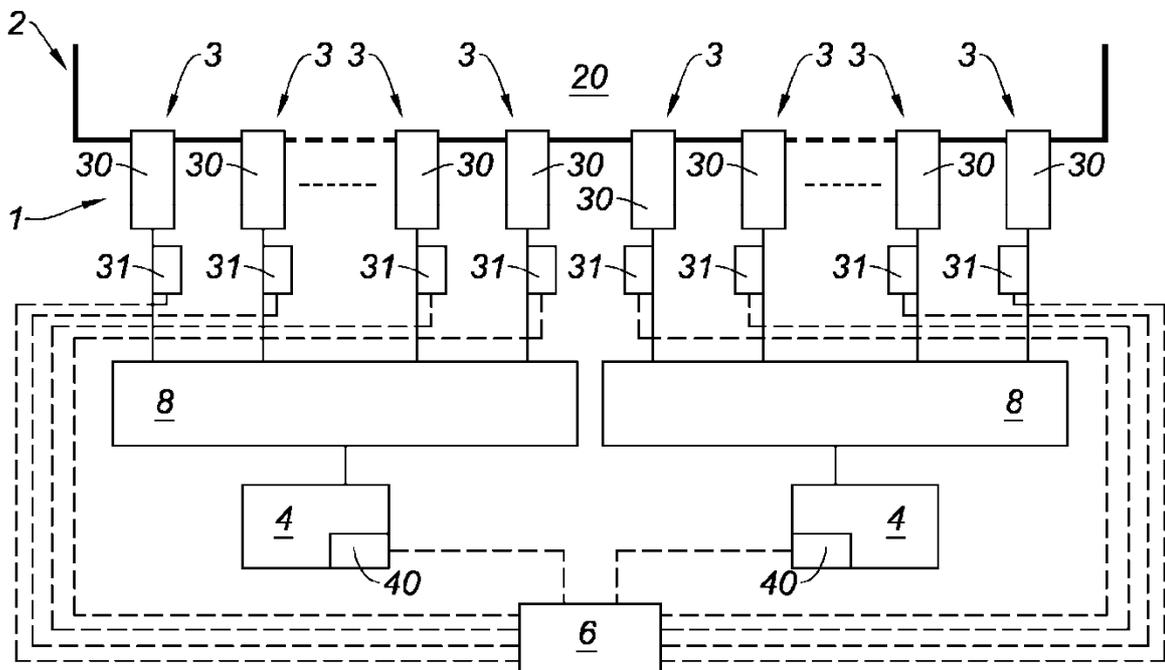


Fig. 12