

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 987 578**

51 Int. Cl.:

F03H 1/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.12.2021** **E 21213628 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2024** **EP 4194694**

54 Título: **Propulsor de plasma con antena de jaula**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
15.11.2024

73 Titular/es:

UNIVERSITÄT STUTTGART (100.0%)
Keplerstrasse 7
70174 Stuttgart, DE

72 Inventor/es:

ROMANO, FRANCESCO;
CHAN, YUNG-AN;
HERDRICH, GEORG y
FASOULAS, STEFANOS

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 987 578 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

Propulsor de plasma con antena de jaula

5 **Sector técnico**

La presente invención se refiere a un propulsor de plasma, en particular, para la propulsión de naves espaciales y/o satélites, que comprende un canal de descarga cilíndrico y una antena de RF que rodea el canal de descarga, generando dicha antena de RF, cuando es alimentada con potencia de RF, campos electromagnéticos que ionizan el propelente formando un plasma en el canal de descarga que, a continuación, es eyectado a través de una salida para generar propulsión. El propulsor de plasma comprende, asimismo, un inyector para inyectar el propelente al canal de descarga, y un dispositivo para generar un campo magnético estático axial en el canal de descarga, que tiene dos funciones principales: una es contribuir a la formación de ondas helicón dentro del plasma, que resultan en mayor eficiencia, y la segunda es, debido a su divergencia en la zona de salida, acelerar (parcialmente) y eyectar un plasma cuasi neutro para la generación de propulsión. Dicho propulsor de plasma se conoce, asimismo, como un propulsor de plasma helicón.

En un propulsor de plasma helicón, el propelente que es inyectado al canal de descarga cilíndrico se convierte en un plasma mediante las ondas electromagnéticas de la antena de radiofrecuencia (RF). El campo magnético axial que, habitualmente, se genera mediante un solenoide o un sistema de imanes permanentes, provoca la generación de ondas helicón en el plasma. Estas se polarizan circularmente y desarrollan dentro del plasma que se forma en el interior del canal de descarga cilíndrico. La presencia de ondas helicón permite un acoplamiento de potencia más eficiente que en los sistemas de plasma inductivos o capacitivos comparables. Mediante el efecto combinado de la configuración del campo electromagnético producida por la antena de RF, y del campo magnético estático, un plasma cuasi neutro es eyectado a alta velocidad desde el canal de descarga para generar propulsión. La cuasi neutralidad del plasma a la salida elimina la necesidad de un dispositivo neutralizador, que se utiliza normalmente para propulsores eléctricos convencionales, tales como propulsores iónicos de RF/de cuadrícula y de defecto Hall. Dicho propulsor de plasma se puede utilizar para la propulsión de satélites y/o naves espaciales pequeños y puede, asimismo, escalarse para ser utilizado en naves espaciales mayores, así como en CubeSats. Por otra parte, dicho propulsor de plasma puede, asimismo, adaptarse como una fuente de plasma para aplicaciones terrestres.

Estado de la técnica anterior

El documento de F. Romano *et al.*, "RF Helicon-based Inductive Plasma Thruster (IPT) Design for an Atmosphere-Breathing Electric Propulsion System (ABEP)", Acta Astronautica, Vol. 176, 2020, páginas 476 a 483, describe un propulsor de plasma helicón en el que la antena de RF es una antena de jaula cilíndrica formada de una serie de tramos paralelos eléctricamente conductores, conectados entre sí mediante una estructura mecánica en la parte superior y la parte inferior de los tramos, denominada anillo extremo. Los anillos extremos comprenden condensadores entre tramos adyacentes en cada intervalo, para ajustar la frecuencia de resonancia de la antena de jaula a la requerida por la aplicación. El inyector está fabricado de un material eléctricamente conductor y montado de manera desplazable a lo largo de un eje de simetría del propulsor de plasma, permitiendo el ajuste fino de la frecuencia de resonancia. La publicación no dice nada en torno a la realización técnica de la antena de jaula, y solamente hace referencia a una jaula con ocho tramos en un diseño de paso alto. Una cuestión crítica de dicha antena es la conexión de los tramos con el anillo extremo y los condensadores, que debería ser fiable y resistir las temperaturas de funcionamiento.

Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es dar a conocer un propulsor de plasma basado en helicón que es particularmente adecuado para propulsión de baja potencia de naves espaciales o satélites menores, que proporciona una alta eficiencia al hacer uso de una antena de jaula, diseñado de manera que es fácil de montar, fiable y resistente a las temperaturas de funcionamiento.

Características de la invención

El objetivo se consigue con el propulsor de plasma, según la reivindicación 1. Las realizaciones ventajosas son el objeto de las reivindicaciones dependientes, o pueden extraerse de las siguientes partes de la descripción.

El propulsor de plasma propuesto comprende un canal de descarga cilíndrico que tiene una entrada para un propelente y una salida, un inyector para inyectar el propelente a través de la entrada al canal de descarga, una antena de RF que rodea el canal de descarga, generando dicha antena de RF, cuando es alimentada con potencia de RF, campos electromagnéticos que ionizan el propelente formando un plasma en el canal de descarga que es, a continuación, eyectado a través de la salida para generar propulsión, y un dispositivo para generar un campo magnético estático axial en el canal de descarga, contribuyendo dicho campo magnético a la formación de ondas helicón dentro del plasma, proporcionando, asimismo, la aceleración y eyección del

plasma cuasi neutro. En el propulsor de plasma propuesto, la antena de RF es una antena de jaula cilíndrica formada de una serie de tramos paralelos, eléctricamente conductores, conectados mediante dos anillos extremos a cada lado, donde dichos anillos extremos comprenden uno o varios condensadores entre tramos adyacentes en cada caso, proporcionando dichos condensadores la conexión eléctrica entre los tramos y definiendo la frecuencia de resonancia de la antena de jaula. El inyector está fabricado de un material eléctricamente conductor y montado de manera desplazable a lo largo del eje cilíndrico de la antena de jaula, para el ajuste fino de la frecuencia de resonancia. El propulsor de plasma propuesto está caracterizado por que los dos anillos extremos con los condensadores están soldados sobre dos placas de circuito impreso (PCB, printed circuit board) a las que están unidos los tramos, teniendo dichas placas de circuito impreso una abertura pasante para el canal de descarga.

El propulsor de plasma propuesto se hace funcionar a una de sus frecuencias resonantes, definidas principalmente por la antena y las superficies conductoras circundantes. La frecuencia de resonancia de la antena está, en particular, determinada por la geometría de los tramos y de los anillos extremos, y por el número y la capacitancia de los condensadores implementados. A este respecto, la frecuencia de resonancia deseada se ajusta a la salida de frecuencia del generador de RF seleccionado que proporciona potencia a la antena de RF, o viceversa si se utiliza un generador de frecuencia variable. El funcionamiento a una de las frecuencias resonantes minimiza las pérdidas (potencia reflejada) y el calentamiento óhmico. Además, dado que una antena de jaula tiene múltiples frecuencias resonantes (modos resonantes), el funcionamiento en un modo resonante $m=1$ específico produce un campo electromagnético polarizado linealmente dentro de la sección transversal del canal de descarga, que proporciona adicionalmente una velocidad de deriva para iones y electrones en la dirección de propulsión. El campo magnético axial adicional inicia ondas helicón en el plasma con una eficiencia correspondientemente mayor para la descarga de plasma, así como con el efecto de una tobera magnética que acelera más las partículas cargadas a través de la salida. El propulsor genera un chorro de plasma cuasi neutro que no requiere ningún neutralizador adicional, que es necesario en los propulsores iónicos alternativos de RF/de cuadrícula y/o de efecto Hall convencionales. La antena de jaula propuesta utiliza dos placas de circuito impreso (PCB) sobre las que se sueldan los condensadores, formando los anillos extremos, y a las que se unen los tramos. Estas son fáciles de fabricar, y permiten un montaje fiable que, asimismo, garantiza la resistencia al calor de las correspondientes conexiones eléctricas. La utilización de las PCB permite una escalabilidad simple para la fabricación industrial del propulsor, es decir, una ampliación o una reducción sencillas. Además, la utilización de las PCB en ambos extremos de la antena de jaula permite, asimismo, sustituir fácilmente las PCB con PCB con condensadores diferentes, para el funcionamiento a frecuencias diferentes. Generalmente, la utilización de PCB facilita la fabricación e integración en la producción en masa.

Preferentemente, los tramos comprenden pies para su sujeción en ambos extremos. Debido a su geometría, estos tramos se fabrican, preferentemente, mediante una combinación de tecnología de impresión 3D y de fundición. Dicha tecnología prevé la impresión 3D de la geometría deseada en plástico/cera. Dicho modelo es, a continuación, rodeado por un yeso fino que después se solidifica. El conjunto se calienta y el plástico/cera se funde/quema creando un molde. El latón fluido es inyectado y, a continuación, solidifica, proporcionando la pieza deseada. Esto permite geometrías complejas, tales como la formación de los tramos con la curvatura deseada, con pies en una sola pieza que sería difícil fabricar mediante mecanizado convencional. El uso de esta combinación de tecnologías permite, asimismo, la posibilidad de una creación rápida de prototipos para las diferentes configuraciones de antena y su verificación, lo que reduce el tiempo y el coste del desarrollo. La utilización de la tecnología de impresión 3D con el procedimiento de fundición impide, asimismo, la degradación de las propiedades eléctricas de la antena, resultantes de la calidad incontrolable de los procedimientos estándar de impresión 3D, tales como la porosidad interna del conductor eléctrico y la respectiva calidad superficial.

En una realización preferente, las placas de circuito impreso se colocan en bridas aislantes a las que se fijan los tramos por medio de tornillos y tuercas (fabricados de material aislante) a través de orificios pasantes en los pies, en las placas de circuito impreso y en las bridas. Preferentemente, las PCB y las bridas aislantes tienen forma de anillos.

Para adaptar, o realizar un ajuste fino de la frecuencia de resonancia de la antena de jaula, el inyector desplazable puede comprender un accionamiento eléctrico, en particular un motor paso a paso o un accionamiento piezoeléctrico, para el desplazamiento del inyector a lo largo del eje cilíndrico de la antena de jaula. Esto permite un ajuste automático o por control remoto de la frecuencia de resonancia. Muy ventajosamente, el propulsor de plasma propuesto se puede utilizar para la propulsión de naves espaciales pequeñas y/o satélites pequeños. Debido a su relativamente fácil escalabilidad, puede también ser utilizado en satélites mayores. No obstante, también es posible su uso como fuente de plasma para aplicaciones terrestres.

Breve descripción de los dibujos

El propulsor de plasma propuesto se describe en detalle a continuación por medio de una realización a modo

de ejemplo y de las correspondientes figuras. Las figuras muestran:

figura 1 un ejemplo de un sistema de propulsor de plasma en representación esquemática;

5 figura 2 una vista esquemática de una antena de jaula en configuración de paso alto, tal como se utiliza en la presente invención;

figura 3 una vista esquemática de los campos electromagnéticos generados por la antena de jaula y el campo magnético estático axial aplicado externamente;

10 figura 4 un ejemplo para los componentes y el diseño de la antena de jaula del propulsor de plasma propuesto;

15 figura 5 una fotografía de una de las placas de circuito impreso utilizadas para la antena de jaula de la figura 4, en vista en planta;

figura 6 una vista lateral y una vista, en sección transversal, de uno de los tramos de la antena de jaula de la figura 4; y

20 figura 7 una vista, en sección transversal, de un ejemplo del propulsor de plasma propuesto.

Descripción detallada de realizaciones

25 La figura 1 muestra un ejemplo de un sistema de propulsor de plasma completo que utiliza un propulsor de plasma, según la presente invención. El propulsor de plasma consiste en el canal de descarga cilíndrico 1 rodeado por la antena de jaula 2. La antena de jaula 2, por otra parte, está rodeada por un solenoide 3 (alternativamente, por una disposición de imanes permanentes) que aplica un campo magnético estático axial a lo largo del canal de descarga 1. El propelente es inyectado al canal de descarga 1 mediante un inyector 4. Un generador de RF 5 combinado con una red de adaptación 6 proporciona la potencia de RF a la antena de jaula 2. El solenoide 3 está alimentado por una fuente de alimentación de CC 7. Al aplicar la potencia de RF a la antena de jaula 2, el propelente en el canal de descarga 1 se convierte en un plasma 8 mediante las ondas electromagnéticas generadas con la antena de jaula 2. El campo magnético axial proporciona la condición de contorno para la generación de ondas helicón en el plasma 8. Los campos electromagnéticos generados por la antena de jaula, junto con el campo magnético estático aplicado, proporcionan la aceleración del plasma cuasi neutro 8, que es eyectado a través de la salida del canal de descarga 1 como un chorro 9 de plasma que genera la correspondiente propulsión.

40 La figura 2 muestra una representación esquemática de una antena de jaula 2 en una configuración de paso alto utilizada en el propulsor de plasma propuesto. En este ejemplo, la antena de jaula 2 consiste en ocho tramos 10 conectados por dos anillos extremos 11 a cada lado. En cada anillo extremo 11, entre cada dos tramos 10, están comprendidos condensadores 12 en el anillo extremo 11. Estos condensadores 12 se utilizan para proporcionar la frecuencia resonante deseada de la antena de jaula 2, que está relacionada con la frecuencia de excitación de la unidad de potencia (generador de RF 5), por ejemplo, una frecuencia de 40,68 MHz. En el presente ejemplo, la antena de jaula 2 comprende ocho tramos 10. Sin embargo, el propulsor de plasma propuesto puede tener, asimismo, una antena de jaula 2 con un mayor o menor número de tramos 10.

50 Funcionando en una de las frecuencias resonantes de la antena de jaula 2, la antena está optimizada, asimismo, desde el punto de vista de minimizar la pérdida por potencia reflejada y las pérdidas óhmicas. Esto significa que se puede conseguir una impedancia de antena de $Z_{\text{antena}} = 50 + j0 \Omega$. Otros modos resonantes pueden tener una reactancia de $X_{\text{antena}} = 0 \Omega$, pero la R_{antena} puede ser diferente de 50Ω . Los generadores de RF estándar, que tienen una impedancia de salida de $Z_{\text{RF}} = 50 + j0 \Omega$, pueden proporcionar un acoplamiento de potencia eléctrica de más del 99,99 %. En el modo de resonancia deseado de la antena de jaula esto tiene como resultado, asimismo, campos magnéticos y eléctricos (E_1 , B_1) homogéneos y linealmente polarizados, en la sección transversal del cilindro de plasma (canal de descarga 1). Dichas configuraciones proporcionan una velocidad de deriva para iones y electrones al mismo tiempo y en la dirección de propulsión y, por lo tanto, aumentan la propulsión generada por el propulsor de plasma. Además, el campo magnético estático B_0 proporciona una divergencia a la salida del canal de descarga 1 y, por lo tanto, el efecto de una tobera magnética, que acelera más el plasma cuasi neutro y, por lo tanto, incrementa asimismo la propulsión. Los correspondientes campos electromagnéticos (E_1 , B_1) así como el campo magnético B_0 estático aplicado externamente se indican esquemáticamente en la figura 3.

65 Un aspecto muy importante de la presente invención es el diseño de la antena de jaula 2. La figura 4 muestra, a modo de ejemplo, una vista, con las piezas desmontadas, de los componentes para montar la antena de jaula 2. Las características esenciales de esta antena son las dos placas de circuito impreso 14 (PCB), en las que se fijan directamente los tramos 10 de antena y a las que se sueldan los condensadores 12 entre los

tramos de antena. El anillo extremo de la antena de jaula 2 está formado, asimismo, sobre las correspondientes placas de circuito 14. En el presente ejemplo, se muestra una forma muy ventajosa de los tramos 10 con pies 13 a cada lado. En una sección transversal perpendicular al eje del cilindro, los tramos 10 y los pies 13 tienen una forma, en sección transversal, correspondiente a la sección transversal de secciones de la carcasa de cilindro de un cilindro hueco con el mismo eje de cilindro. Los tramos están, preferentemente, formados combinando tecnologías de impresión 3D y de fundición, para producir los tramos de antena a partir de cobre. Este sistema es particularmente adecuado para aplicaciones de baja potencia y, por lo tanto, para satélites pequeños.

La tecnología de impresión 3D y de fundición garantiza la conductividad del cobre y, al mismo tiempo, la forma deseada de los tramos (y de los pies). Las placas de circuito impreso 14 están conectadas a la antena por medio de tornillos de PEEK y correspondientes tuercas 17, tal como se indica en la figura 4. Estos resisten altas temperaturas y, al mismo tiempo, aíslan eléctricamente. Los condensadores 12 se sueldan a las PCB (tal como se muestra en la figura 5). Una tierra de RF 19 y una entrada de RF 18 se conectan a los tramos 10 de antena. La puesta a tierra utiliza un tornillo eléctricamente conductor para disipar cualquier potencia reflejada. El conector de entrada de RF está directamente soldado o grapado. Se utilizan dos bridas de óxido de aluminio 15 para mantener unida la estructura. Estas son eléctricamente aislantes y resistentes a altas temperaturas. Una brida de PTFE 16 fijada en la parte superior, tiene la tarea de mantener la estructura global proporcionando, al mismo tiempo, aislamiento eléctrico. Tal como se puede ver por la figura 4, los tramos 10 están unidos mediante orificios pasantes en los pies 13, la placa PCB 14 y las bridas de óxido de aluminio 15, con los tornillos y las tuercas 17.

La figura 5 muestra una fotografía de una de las placas PCB 14, en vista en planta. En esta vista en planta, se puede reconocer el anillo extremo 11 de la antena de jaula junto con los condensadores 12. La figura muestra, asimismo, los orificios pasantes 20 para fijar los tramos 10.

La figura 6 muestra una vista lateral y una vista superior de uno de los tramos 10 con los pies 13 a ambos lados, junto con dimensiones en milímetros a modo de ejemplo. La propia antena está, preferentemente, aislada del exterior por una pantalla de Faraday. Esta está fabricada de un material conductor y —en la aplicación en un satélite— es muy ventajosa dado que aísla la electrónica del satélite respecto de los campos electromagnéticos del propulsor de plasma. Aísla, asimismo, la antena de jaula respecto de campos electromagnéticos externos parásitos.

La figura 7 muestra una vista de corte de un ejemplo del propulsor de plasma propuesto, en la que se indica, asimismo, la pantalla de Faraday 21. La figura indica, asimismo, la posibilidad de movimiento del inyector 4 mediante la doble flecha en la figura. El propulsor de plasma está diseñado para resonar a una frecuencia específica, por ejemplo, de 40,68 MHz. La antena de jaula 2 se puede diseñar para resonar a esta frecuencia mediante la selección apropiada de los condensadores 12 en los anillos extremos 11. Sin embargo, dado que los componentes electrónicos utilizados en la práctica no son ideales y tienen siempre algunas desviaciones, teniendo siempre, asimismo, el conjunto y la integración algunas tolerancias, se requiere un ajuste fino de la frecuencia de resonancia. Esto se consigue mediante el inyector desplazable 4 fabricado de un material eléctricamente conductor, en el presente ejemplo, latón. Este inyector se puede desplazar a lo largo del eje de simetría del propulsor o del eje cilíndrico de la antena de jaula, tal como se indica en la figura 7. Cuando este inyector 4 se desplaza dentro/muy cerca de la zona de la antena, la frecuencia de resonancia del propulsor aumenta. La extensión del movimiento define el incremento de frecuencia, que se puede controlar finalmente. Con un inyector desplazable de este tipo es posible, por ejemplo, un ajuste fino de la configuración de resonancia de la antena con un rango de intervalo de 0,01 a 0,05 MHz. El movimiento del inyector se puede realizar manualmente o se puede conseguir, asimismo, con un accionamiento eléctrico apropiado, en particular, un motor paso a paso, para automatizar el ajuste.

Lista de signos de referencia

- 1 canal de descarga
- 2 antena de jaula
- 3 solenoide
- 4 inyector
- 5 generador de RF
- 6 red de adaptación
- 7 fuente de alimentación de CC
- 8 plasma
- 9 chorro de plasma
- 10 tramo
- 11 anillo extremo
- 12 condensador
- 13 pie
- 14 placa PCB

ES 2 987 578 T3

	15	brida de Al_2O_3
	16	brida de PTFE
	17	tornillos y tuercas de PEEK
	18	entrada de RF
5	19	tierra de RF
	20	orificio pasante
	21	pantalla de Faraday

REIVINDICACIONES

1. Propulsor de plasma, en particular para la propulsión de naves espaciales y/o satélites, que comprende:

- 5 - un canal de descarga cilíndrico (1) que tiene una entrada para un propelente y una salida,
- un inyector (4) para inyectar el propelente, a través de la entrada, al canal de descarga (1),
- una antena de RF que rodea el canal de descarga (1), generando dicha antena de RF, cuando es alimentada con potencia de RF, campos electromagnéticos que ionizan el propelente formando un plasma (8) en el canal de descarga (1) que, a continuación, es eyectado a través de la salida para generar propulsión,
- 10 - un dispositivo (3) para generar un campo magnético estático axial en el canal de descarga (1), proporcionando dicho campo magnético condiciones de contorno para la formación de ondas helicón dentro del plasma (8), proporcionando, asimismo, un efecto de tobera magnética a la salida, para la aceleración del plasma cuasi neutro,
- en el que
- 15 - la antena de RF es una antena de jaula cilíndrica (2) formada de una serie de tramos paralelos eléctricamente conductores (10) conectados por dos anillos extremos (11) a cada lado, comprendiendo dichos anillos extremos (11) uno o varios condensadores (12) entre tramos adyacentes (10) en cada caso, definiendo dichos condensadores (12) una frecuencia de resonancia de la antena de jaula (2), y
- el inyector (4) está fabricado de un material eléctricamente conductor y montado de manera desplazable a lo
- 20 largo de un eje cilíndrico de la antena de jaula (2) para el ajuste fino de la frecuencia de resonancia,
- caracterizado por que**

los dos anillos extremos (11) con los condensadores (12) están soldados sobre dos placas de circuito impreso (14) a las que están sujetos los tramos (10), teniendo dichas placas de circuito impreso (14) una

25 abertura pasante para el canal de descarga (1).

2. Propulsor de plasma, según la reivindicación 1, **caracterizado por que** los tramos (10) comprenden pies (13) para su fijación, en ambos extremos.

30 3. Propulsor de plasma, según la reivindicación 2, **caracterizado por que** los tramos (10) están formados por una combinación de tecnologías de impresión 3D y de fundición.

4. Propulsor de plasma, según la reivindicación 2 o 3, **caracterizado por que** las placas de circuito impreso (14) en las que se sueldan los condensadores (12) están colocadas sobre

35 bridas aislantes (15) a las que se fijan los tramos (10) por medio de tornillos y tuercas (17) a través de orificios pasantes en los pies (13), en las placas de circuito impreso (14) y en las bridas aislantes (15).

5. Propulsor de plasma, según la reivindicación 4, **caracterizado por que** las placas de circuito impreso (14) y las bridas aislantes (15) tienen forma de anillos.

40

6. Propulsor de plasma, según una o varias de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que**

el inyector (4) está dotado de un accionamiento eléctrico, en particular, de un motor paso a paso o de un accionador piezoeléctrico, para el desplazamiento del inyector (4) a lo largo del eje cilíndrico de la antena de

45 jaula (2).

7. Propulsor de plasma, según una o varias de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que**

en una sección transversal perpendicular al eje del cilindro, los tramos (10) y los pies (13) tienen una forma,

50 en sección transversal, correspondiente a la sección transversal de secciones de la carcasa de cilindro de un cilindro hueco con el mismo eje de cilindro.

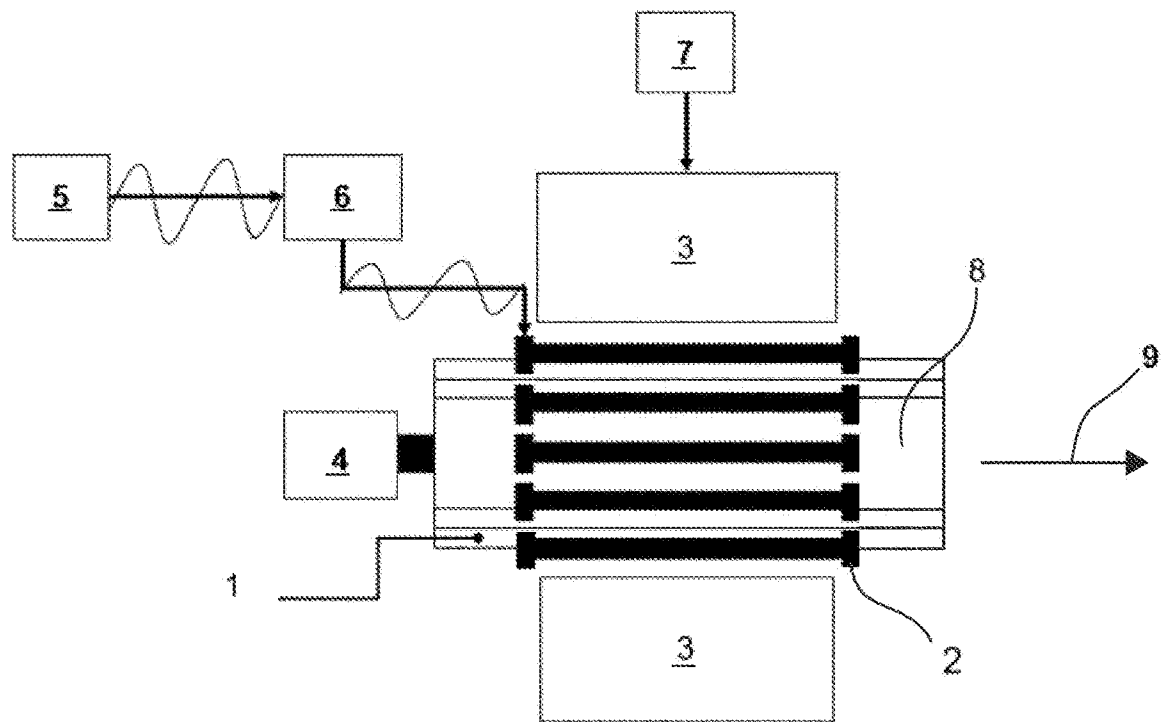


Fig. 1

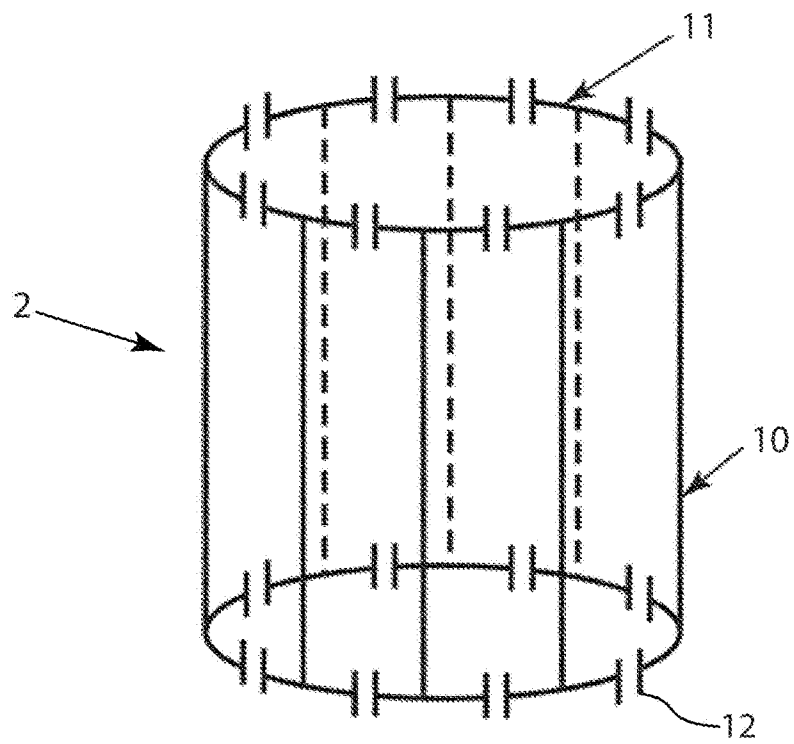


Fig. 2

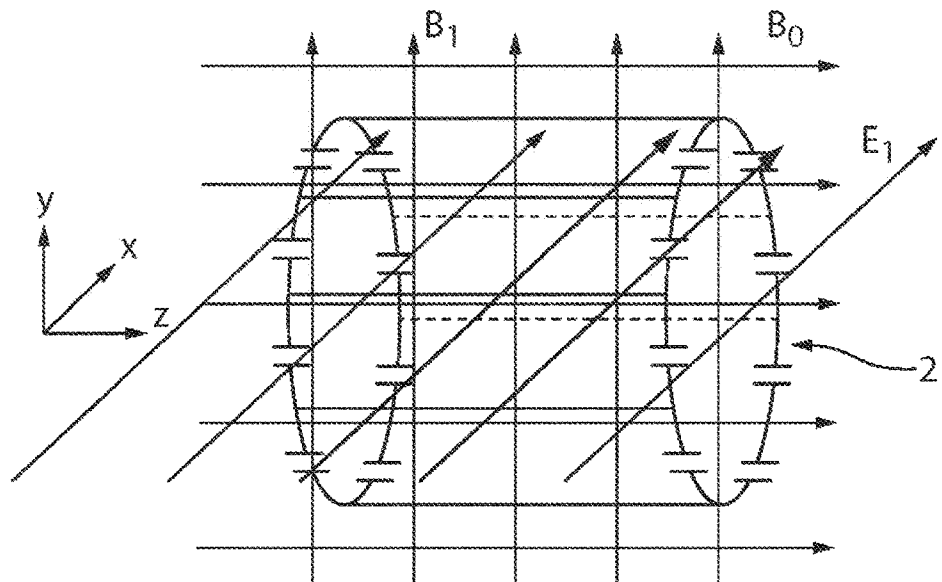


Fig. 3

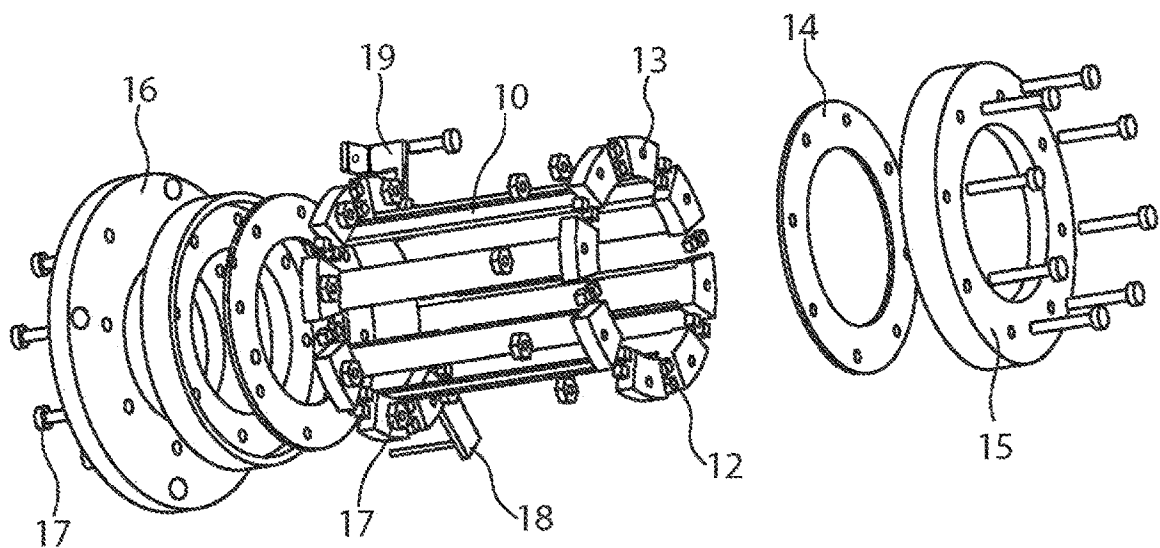


Fig. 4

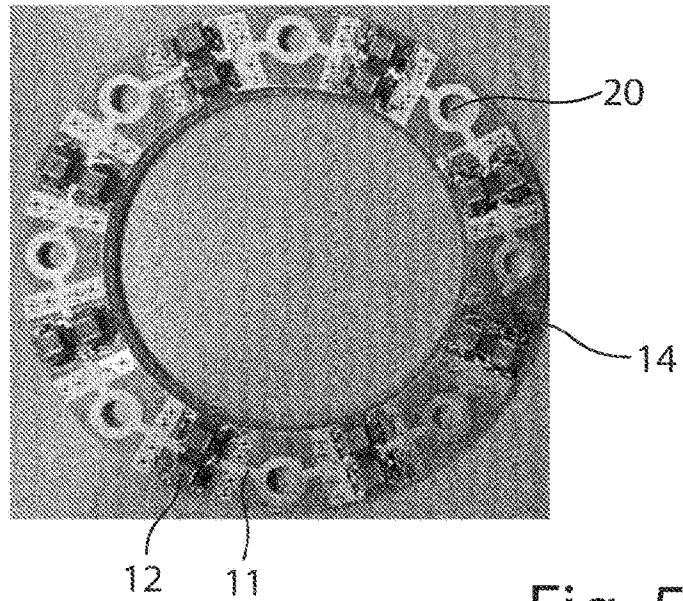


Fig. 5

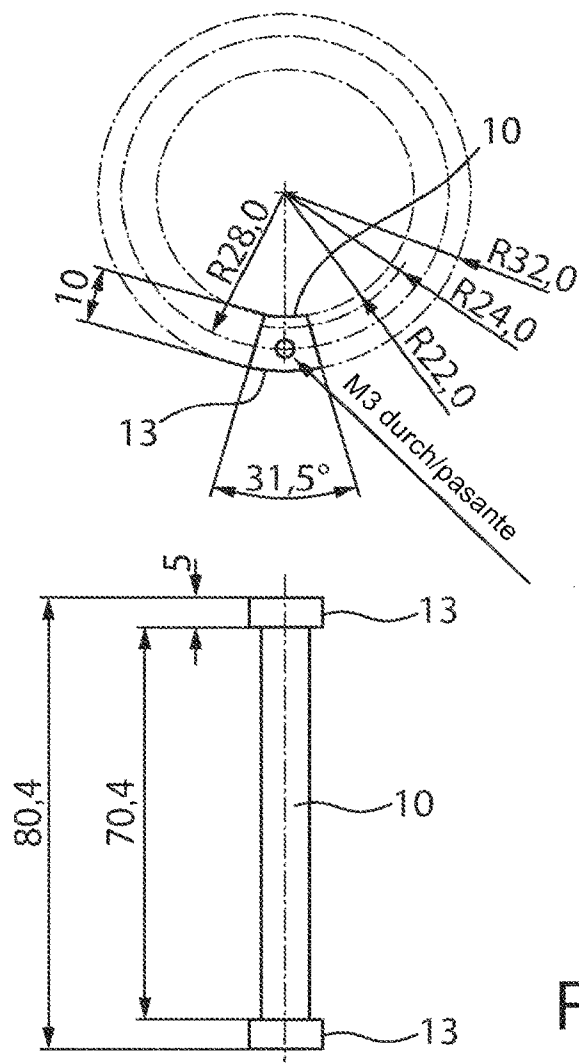


Fig. 6

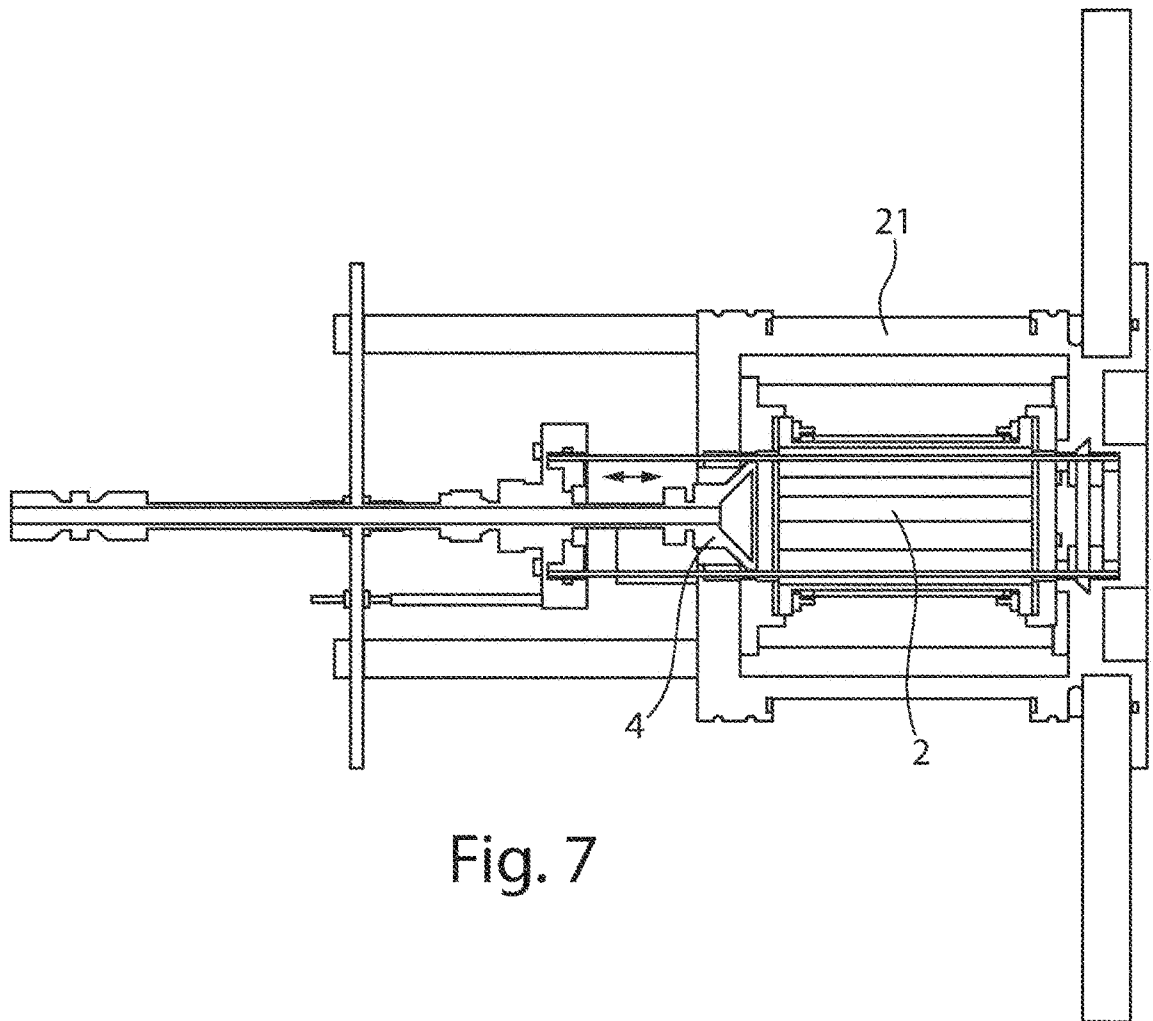


Fig. 7

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 *Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.*

Literatura no patente citada en la descripción

• **F. ROMANO et al.** RF Helicon-based Inductive Plasma Thruster (IPT) Design for an Atmosphere-Breathing Electric Propulsion System (ABEP). Acta Astronautica, 2020, vol. 176, 476-483

10