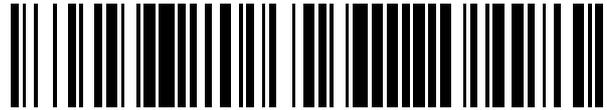


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 570 577**

51 Int. Cl.:

F25D 19/00 (2006.01)

F25B 9/14 (2006.01)

H02K 55/04 (2006.01)

H02K 9/20 (2006.01)

H01L 23/427 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.01.2012 E 14003633 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2016 EP 2848879**

54 Título: **Dispositivo de refrigeración para un superconductor y máquina síncrona superconductora**

30 Prioridad:

13.01.2011 DE 102011002622

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

19.05.2016

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**FRANK, MICHAEL;
KUMMETH, PETER;
NICK, WOLFGANG y
SCHMIDT, HEINZ**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 570 577 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

Dispositivo de refrigeración para un superconductor y máquina síncrona superconductor

5 La invención se refiere a un dispositivo de refrigeración para un superconductor, en particular un superconductor de alta temperatura de una máquina síncrona, que comprende un circuito de refrigeración para un medio refrigerante, conduciéndose el medio refrigerante licuado en un cabezal frío con un condensador al superconductor que debe refrigerarse, en particular al rotor de la máquina síncrona, y se guía en estado gaseoso de vuelta al condensador. Además, la invención se refiere a una máquina síncrona superconductor, en particular para su uso en una embarcación.

10 Un dispositivo de refrigeración para un superconductor según el preámbulo de la reivindicación 1 se da a conocer en el documento DE 10321463 A1.

En las denominadas máquinas superconductoras está previsto al menos un arrollamiento superconductor, usándose con frecuencia los denominados superconductores de alta temperatura (superconductores HTS). Se denomina superconductores HTS a los materiales superconductores de óxido de metal con temperaturas de transición T_c de más de 77 K.

15 Para la refrigeración de superconductores, en particular también en máquinas superconductoras, se utilizan habitualmente líquidos criogénicos como medio refrigerante. Así, para superconductores HTS se conocen por ejemplo dispositivos de refrigeración, en los que en un sistema cerrado se licua por ejemplo gas neón o nitrógeno como medio refrigerante en un cabezal frío con condensador. Desde allí el medio refrigerante fluye al componente que porta el superconductor, por ejemplo un rotor que debe refrigerarse. El medio refrigerante que se evapora llega de vuelta al condensador y se licua de nuevo en el mismo. A este respecto, se aprovecha el denominado efecto 20 termosifón. El medio refrigerante líquido se evapora en un portador termoconductor que porta el superconductor, en particular un portador de arrollamiento, y circula en estado gaseoso debido a la diferencia de presión, que se genera debido a la evaporación en el evaporador y a la condensación en el espacio de condensación del condensador, de vuelta al condensador. Tales corrientes de agente refrigerante se denominan también "heat pipe" (tubo de calor).

25 El transporte del medio refrigerante líquido al superconductor se realiza en los dispositivos de refrigeración conocidos mediante la gravedad. Esto significa que el condensador está dispuesto en una posición geodésicamente superior respecto al evaporador. En conjunto se forma un sistema de refrigeración cerrado.

30 Este modo de proceder resulta ser complicado siempre que puede producirse una posición oblicua del dispositivo de refrigeración o de la máquina síncrona que lo comprende puede aparecer, como es posible por ejemplo en máquinas síncronas superconductoras para aplicaciones en barcos, es decir por ejemplo motores HTS o generadores HTS. En embarcaciones tales como barcos puede llegarse fácilmente a una posición oblicua o una inclinación del barco. Tales posiciones oblicuas estáticas se denominan "trim" (ladeo), pero también son posibles posiciones oblicuas dinámicas. Entonces, el medio refrigerante líquido dado el caso puede no llegar al evaporador y desplegar su efecto refrigerante.

35 Para solucionar esta problemática se propuso que siempre que pueda producirse una inclinación del dispositivo de refrigeración y en particular por tanto también del conducto de medio refrigerante, se aproveche la altura geodésica del nivel de líquido, o incluso, que la máquina superconductor completa se instale ya inclinada. Esto significa en particular, que el condensador con el cabezal frío se dispone en una posición claramente superior a la del superconductor que debe refrigerarse. Por consiguiente, en el caso de un medio refrigerante suficientemente líquido 40 en el sistema cerrado y de esa manera un nivel de líquido suficientemente alto, a pesar de un conducto de medio refrigerante ascendente, puede conducirse el medio refrigerante líquido al superconductor, en particular al rotor.

45 Este modo de proceder tiene por un lado la desventaja de que debe mantenerse una gran cantidad de medio refrigerante líquido en el sistema. Por otro lado, existen limitaciones respecto a la disposición de los diferentes componentes y el curso de los conductos para el medio refrigerante, en lo que se refiere al diseño del dispositivo de refrigeración.

Estas limitaciones de diseño existen también en otros campos de aplicación, si hay escasez de espacio, que no permite prever condensador con una posición geodésicamente superior con un cabezal frío, que habitualmente está conectado a una máquina frigorífica. Esto es válido, por ejemplo, en el caso de limitaciones de altura para un dispositivo, por ejemplo un automotor de un ferrocarril o similares.

50 Un uso de medios mecánicos tales como bombas requiere un esfuerzo de aparatos y energético alto, que precisamente aumenta adicionalmente para temperaturas de medio refrigerante bajas.

Por tanto, la invención se basa en el objetivo de indicar un dispositivo de refrigeración para un superconductor, que

transporte de manera fiable el medio refrigerante al superconductor que debe refrigerarse, sin basarse a este respecto en un efecto de la gravedad ni estar sujeto a las limitaciones correspondientes.

5 Para alcanzar este objetivo, en un dispositivo de refrigeración del tipo mencionado al principio según la invención está previsto que una presión generada a través de una parte del medio refrigerante licuado evaporada por medio de una fuente de calor sirva para el transporte del medio refrigerante del condensador al superconductor.

Según la invención se propone un dispositivo de refrigeración para un superconductor según la reivindicación 1.

10 El dispositivo de refrigeración está dotado de una fuente de calor, que está dispuesta en la sección de transporte entre el condensador y el superconductor que debe refrigerarse y está configurada para un funcionamiento de tal manera que a través del medio refrigerante evaporado, por consiguiente voluminoso, se genera una presión, que transporta el medio refrigerante al superconductor que debe refrigerarse. De este modo es posible transportar el medio refrigerante líquido sin aprovechar la gravedad hacia arriba al superconductor que debe refrigerarse, en particular al rotor. A este respecto se aprovecha un aumento de presión, provocado por una fuente de calor en la zona del medio refrigerante líquido y que presiona en última instancia el medio refrigerante hacia el superconductor. En particular, un abastecimiento de medio refrigerante de este tipo es apropiado para barcos, debido a que el medio refrigerante líquido puede transportarse independientemente de la posición real del barco respecto a la horizontal. La cantidad de medio refrigerante líquido puede seleccionarse de manera flexible y el condensador ya no debe encontrarse obligatoriamente en una posición superior a la de la abertura de salida de la sección de conducto en el componente que porta el superconductor, en particular el rotor. En caso de una máquina síncrona, el superconductor puede fijarse, por ejemplo, a un portador de arrollamiento térmicamente conductor, que forma la limitación de un espacio interno del rotor, que actúa como espacio de evaporación.

15 20 Concretamente, a este respecto puede estar previsto que esté previsto un depósito conectado a través de una primera sección de conducto con el condensador y a través de una segunda sección de conducto con el componente que porta el superconductor que debe refrigerarse, que actúa como evaporador, en particular el rotor, para medio refrigerante, al que está acoplada la fuente de calor. En el depósito se pasa en consecuencia una parte del medio refrigerante líquido a un estado gaseoso, de modo que se genera una presión, que transporta el medio refrigerante desde el depósito hacia el superconductor.

25 30 A este respecto, la presente invención posibilita en particular que la segunda sección de conducto esté configurada como tubo ascendente. Mediante la presión generada por medio de la parte del medio refrigerante evaporada por la fuente de calor, el medio refrigerante puede transportarse por consiguiente en última instancia en contra de la gravedad, es decir hacia arriba.

Dado que en la presente invención la gravedad ya no proporciona la fuerza de transporte, se posibilita además que la segunda sección de conducto sea al menos parcialmente flexible. Por tanto, ya no debe usarse ningún tubo rígido, sino que es posible, por ejemplo, que la segunda sección de conducto comprenda un tubo flexible ondulado y/o un fuelle, a través del que circula el medio refrigerante líquido, impulsado por la presión en el depósito.

35 40 En una configuración especialmente conveniente de la presente invención puede estar previsto que esté prevista una válvula, en particular una válvula antirretorno, dispuesta aguas arriba del depósito en el lado de condensador. La válvula sirve en consecuencia para dirigir la presión, que empuja desde el depósito hacia ambas secciones de conducto, con la válvula cerrada, hacia la segunda sección de conducto en la dirección del componente que debe refrigerarse o superconductor, para conseguir un transporte eficaz. Aunque básicamente es posible, a lo que se entrará más en detalle más adelante, usar una válvula controlada, según la invención se prefiere utilizar una válvula antirretorno, que sin un control adicional únicamente permite que el medio refrigerante siga circulando al depósito desde el condensador, pero no que el medio refrigerante líquido se presione de vuelta al condensador. Ventajosamente no es necesario ningún control de válvula en una válvula antirretorno, de modo que aumenta la seguridad de funcionamiento, tras haber descartado una perforación de la válvula.

45 50 Preferiblemente, en el caso de usar una válvula antirretorno que aprovecha la fuerza de gravedad, la válvula antirretorno que aprovecha la fuerza de gravedad puede estar dispuesta en la parte ascendente, adyacente al depósito, de un sifón. A este respecto pueden usarse por ejemplo válvulas antirretorno, que se basan en una carga expuesta a la gravedad, por ejemplo una bola prevista en la válvula antirretorno. La sección de conducto hacia el depósito de líquido se configura en consecuencia como sifón y la válvula antirretorno se coloca en la parte de conducto ascendente poco antes del depósito.

Como ya se ha mencionado, la presente invención permite en general que el condensador esté dispuesto en una posición inferior que el superconductor que debe refrigerarse, de modo que también puede seleccionarse de manera dirigida una configuración de este tipo en el dispositivo de refrigeración según la invención.

Según la invención, como fuente de calor se usa una conexión a un gas, en particular al aire externo, acoplada a

través de un puente térmico, siendo la temperatura del gas superior a la temperatura de ebullición del medio refrigerante. Por tanto, también puede usarse un acoplamiento del medio refrigerante líquido, en particular del depósito, a un nivel de temperatura que se encuentra por encima del punto de ebullición del medio refrigerante, en particular en relación con el uso de una válvula controlada mencionada anteriormente. Por tanto, a este respecto, se trata de un acoplamiento térmico pasivo al depósito, de modo que renunciando a un medio de calefacción que se hace funcionar activamente puede aumentarse adicionalmente la seguridad a prueba de fallos del dispositivo de refrigeración. Sin embargo, en este caso, en la configuración debe prestarse atención a que, en particular con la válvula controlable abierta, se garantice una corriente subsiguiente de medio refrigerante líquido al depósito o al sitio en el que actúa la fuente de calor. A este respecto, también puede aprovecharse en particular una especie de conexión térmica "hacia fuera", de modo que el aire ambiente puede aprovecharse como portador de calor. Naturalmente, también es posible usar otros gases o medios refrigerantes.

Además del dispositivo de refrigeración, la presente invención también se refiere a una máquina síncrona superconductora, en particular una máquina síncrona HTS, en particular para su uso en una embarcación, que comprende un dispositivo de refrigeración según la invención. Como ya se ha expuesto al principio, en el transporte del medio refrigerante al superconductor que debe refrigerarse se prescinde de la gravedad, de modo que las consecuencias de una inclinación son mucho menores en el dispositivo de refrigeración según la invención. Por tanto, una máquina síncrona, que está equipada con un dispositivo de refrigeración según la invención, puede utilizarse de manera especialmente ventajosa en un barco, por ejemplo como generador o motor. También en el caso de otras aplicaciones, en las que debido a posibles posiciones oblicuas con respecto a la gravedad un transporte por gravedad parece poco seguro, el dispositivo de refrigeración según la invención puede utilizarse exactamente igual que en aplicaciones en las que no pueden implementarse limitaciones constructivas de un condensador dispuesto en una posición superior a la del rotor que presenta el espacio de evaporación.

Todas las realizaciones relativas al dispositivo de refrigeración según la invención pueden transferirse de manera análoga a la máquina síncrona según la invención, de modo que también con esta pueden alcanzarse las ventajas mencionadas.

Ventajas y detalles adicionales de la presente invención se obtienen de los ejemplos de realización descritos a continuación así como mediante los dibujos. A este respecto, muestran:

- la figura 1 un boceto esquemático de un dispositivo de refrigeración,
- la figura 2 un gráfico con respecto al funcionamiento de un medio de calefacción, y
- la figura 3 un boceto esquemático de un ejemplo de realización del dispositivo de refrigeración según la invención.

La figura 1 muestra un boceto esquemático de un dispositivo 1 de refrigeración, que está asociado a una máquina 2 síncrona que se hace funcionar en un barco, para enfriar arrollamientos 5 superconductores dispuestos dentro de un rotor 4 que puede girar con respecto a un estator 3. Los arrollamientos 5 están fabricados de un superconductor de alta temperatura y los porta un portador de arrollamiento térmicamente conductor, que está dispuesto en una carcasa de vacío y cuyos límites internos forman un espacio interno esencialmente cilíndrico, que se extiende en la dirección axial.

En el presente caso, como medio refrigerante para refrigerar el superconductor se usa gas neón, que se mueve en un circuito de refrigeración cerrado. En un espacio de condensación de un condensador 7, que está conectado térmicamente con un cabezal 6 frío, que como se sabe básicamente está acoplado térmicamente a una máquina frigorífica, se licua medio refrigerante en estado gaseoso. Este medio refrigerante líquido se conduce ahora a través de una primera sección 8 de conducto, un depósito 9 y una segunda sección 10 de conducto a los arrollamientos 5 superconductores en el rotor 4, conociéndose en el estado de la técnica suficientemente la introducción del medio refrigerante líquido en el rotor 4 y no siendo necesario exponerla más detalladamente en este caso.

En el contexto del efecto refrigerante, el medio refrigerante se evapora en el portador de arrollamiento y enfría así los arrollamientos 5. Por tanto, el espacio interno del rotor 4 actúa como espacio de evaporación. El medio refrigerante se conduce a través de un conducto 11 de recirculación de nuevo al condensador 7, donde vuelve a licuarse. Con ello se cierra el circuito de refrigeración.

Dado que el condensador 7 está dispuesto en una posición claramente más baja que el rotor 4, y la segunda sección 10 de conducto está configurada como tubo ascendente, en el dispositivo 1 de refrigeración no se usa la gravedad como fuerza de transporte. Para el transporte del medio refrigerante líquido a través de la segunda sección 10 de conducto al rotor 4 se usa más bien una presión generada por medio 30 refrigerante evaporado.

Como resulta evidente, la primera sección 8 de conducto forma antes del depósito 9 un sifón 12, en cuya sección parcial adyacente al depósito 9, dirigida hacia arriba en contra de la gravedad, está prevista una válvula 13

5 antirretorno. En el fondo del depósito 9 está dispuesto un medio 14 de calefacción como fuente de calor, en este caso un medio 14 de calefacción eléctrico. Durante el funcionamiento, el medio 14 de calefacción actúa sobre el medio 15 refrigerante líquido que se encuentra en el depósito 9, de modo que se genera el medio 30 refrigerante evaporado y aparece una presión. Esta presión transporta el medio 15 refrigerante líquido a través de la segunda sección 10 de conducto al espacio interno del rotor 4, pero no de vuelta al condensador 7, después de que la válvula 13 antirretorno se cierre automáticamente.

10 El medio 14 de calefacción se hace funcionar de manera cíclica, controlado por un dispositivo 16 de control. El dispositivo 16 de control regula el funcionamiento del medio 14 de calefacción de modo que debido a los datos de un sensor 17 de temperatura, que mide la temperatura del medio 14 de calefacción, de un sensor 18 de temperatura, que mide la temperatura en el rotor 4, y de un sensor 19 de nivel de llenado, que mide el nivel de llenado del depósito 9. Mediante esta regulación se obtiene en general un funcionamiento cíclico del medio 14 de calefacción eléctrico, pudiendo seleccionarse las fases de funcionamiento con una duración claramente mayor que en el caso de refrigeraciones por impulsos y de manera análoga pueden ejecutarse potencia de calefacción bajas durante las fases de funcionamiento. Por ejemplo, la proporción del tiempo en el que el medio de calefacción está activo, es decir la fase de funcionamiento, puede seleccionarse para que sea un 40% superior, preferiblemente un 50% superior, con respecto a la fase de no funcionamiento. La potencia de calefacción puede seleccionarse de modo que sea menor que dos veces la potencia del cabezal frío, en particular menor que la potencia del cabezal frío. Debe indicarse en este momento además, que en casos en los que deba preverse una fase de funcionamiento larga del medio 14 de calefacción, puede ser razonable prever un recipiente colector para medio 15 refrigerante líquido en el cabezal frío, para retener el medio 15 refrigerante en las fases en las que no puede seguir circulando nada del medio refrigerante.

25 Es decir, si durante el funcionamiento del medio 14 de calefacción se genera presión, la válvula 13 antirretorno se cierra y se transporta medio 15 refrigerante líquido al rotor 4. Durante una fase de no funcionamiento del medio 14 de calefacción, la válvula 13 antirretorno puede abrirse de nuevo y sigue circulando medio 15 refrigerante líquido al depósito 9. Las bajas potencias de calefacción y las largas duraciones de rendimiento prolongan la vida útil del medio 14 de calefacción y se encargan de un transporte cuasicontinuo de medio 15 refrigerante al rotor 4. A este respecto, la duración de las fases de funcionamiento puede encontrarse, según el diseño del sistema, en un intervalo de segundo o de minutos.

30 Debe indicarse en este momento que en lugar de la válvula 13 antirretorno también puede usarse una válvula controlada, que también se controla por el dispositivo 16 de control.

En este ejemplo de realización, la segunda sección 10 de conducto está configurada parcialmente flexible, por ejemplo en forma de tubo flexible ondulado y/o fuelle, lo que es posible, dado que el transporte ya no tiene lugar a través de la fuerza de gravedad, sino por medio de la presión generada en el depósito 9.

35 La figura 2 muestra ahora de nuevo posibles fases de funcionamiento del medio 14 de calefacción aclaratorias, trazándose la potencia de calefacción frente al tiempo. A este respecto, el valor 20 corresponde a la potencia de cabezal frío. Como resulta evidente, pueden implementarse fases 21 de funcionamiento largas con una potencia baja, que están separadas por fases 22 de no funcionamiento.

40 De indicarse además que básicamente también es posible que el dispositivo 16 de control pueda estar configurado para regular el valor absoluto de la potencia de calefacción durante las fases de funcionamiento del medio 14 de calefacción, cuando una regulación de este tipo sea conveniente.

45 La figura 3 muestra una forma de realización de un dispositivo 23 de refrigeración según la invención, estando dotados por motivos de simplicidad los componentes iguales de los mismos números de referencia. Con respecto al rotor 4, a las secciones de conducto y los conductos 8, 10 y 11, al condensador 7 y al cabezal 6 frío así como al depósito 9 no hay ninguna diferencia. Sin embargo, en este caso a diferencia del dispositivo 1 de refrigeración se usa como fuente 24 de calor un gas 26 acoplado a través de un puente 25 térmico, en este caso a través de un tubo 27 el aire externo. Por consiguiente, se produce un aporte de calor continuo, de modo que además en lugar de la válvula 13 antirretorno está prevista una válvula 28 controlada, que se hace funcionar a través de un dispositivo 29 de control, dado el caso a su vez en función de los valores de medición de los sensores 17, 18 y 19. Siempre que deba seguir circulando medio 15 refrigerante líquido al depósito, se abre la válvula 28.

50

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo (1, 23) de refrigeración para un superconductor, en particular un superconductor de alta temperatura de una máquina (2) síncrona, que comprende un circuito de refrigeración para un medio (30, 15) refrigerante, conduciéndose el medio (15) refrigerante licuado en un cabezal (6) frío con un condensador (7) al superconductor que debe refrigerarse, en particular al rotor (4) de la máquina (2) síncrona, y se guía en estado gaseoso de vuelta al condensador (7), sirviendo una presión generada a través de una parte (30) del medio (30, 15) refrigerante evaporada por medio de una fuente (24) de calor para el transporte del medio (30, 15) refrigerante del condensador (7) al superconductor, caracterizado porque,
- 10 - como fuente (24) de calor se usa una conexión a un gas (26), en particular el aire externo, acoplada a través de un puente (25) térmico, siendo la temperatura del gas (26) superior a la temperatura de ebullición del medio (30, 15) refrigerante.
- 15 2. Dispositivo de refrigeración según la reivindicación 1, caracterizado porque está previsto un depósito (9) conectado a través de una primera sección (8) de conducto con el condensador (7) y a través de una segunda sección (10) de conducto con el componente que porta el superconductor que debe refrigerarse, en particular el rotor (4), para medio (15) refrigerante, al que está acoplada la fuente (24) de calor.
3. Dispositivo de refrigeración según la reivindicación 2, caracterizado porque la segunda sección (10) de conducto está configurada como tubo ascendente.
4. Dispositivo de refrigeración según la reivindicación 2 ó 3, caracterizado porque la segunda sección (10) de conducto es flexible al menos parcialmente.
- 20 5. Dispositivo de refrigeración según una de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizado porque está prevista una válvula (13, 28), en particular una válvula (13) antirretorno, dispuesta aguas arriba del depósito (9) en el lado de condensador.
6. Dispositivo de refrigeración según la reivindicación 5, caracterizado porque la válvula (13) antirretorno que utiliza la fuerza de gravedad está dispuesta en la parte ascendente de un sifón (12) adyacente al depósito (9).
- 25 7. Dispositivo de refrigeración según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el condensador (7) está dispuesto en una posición inferior respecto al superconductor que debe refrigerarse.
8. Máquina (2) síncrona superconductora, en particular para su uso en una embarcación, que comprende un dispositivo (1, 23) de refrigeración según una de las reivindicaciones anteriores.

FIG 1

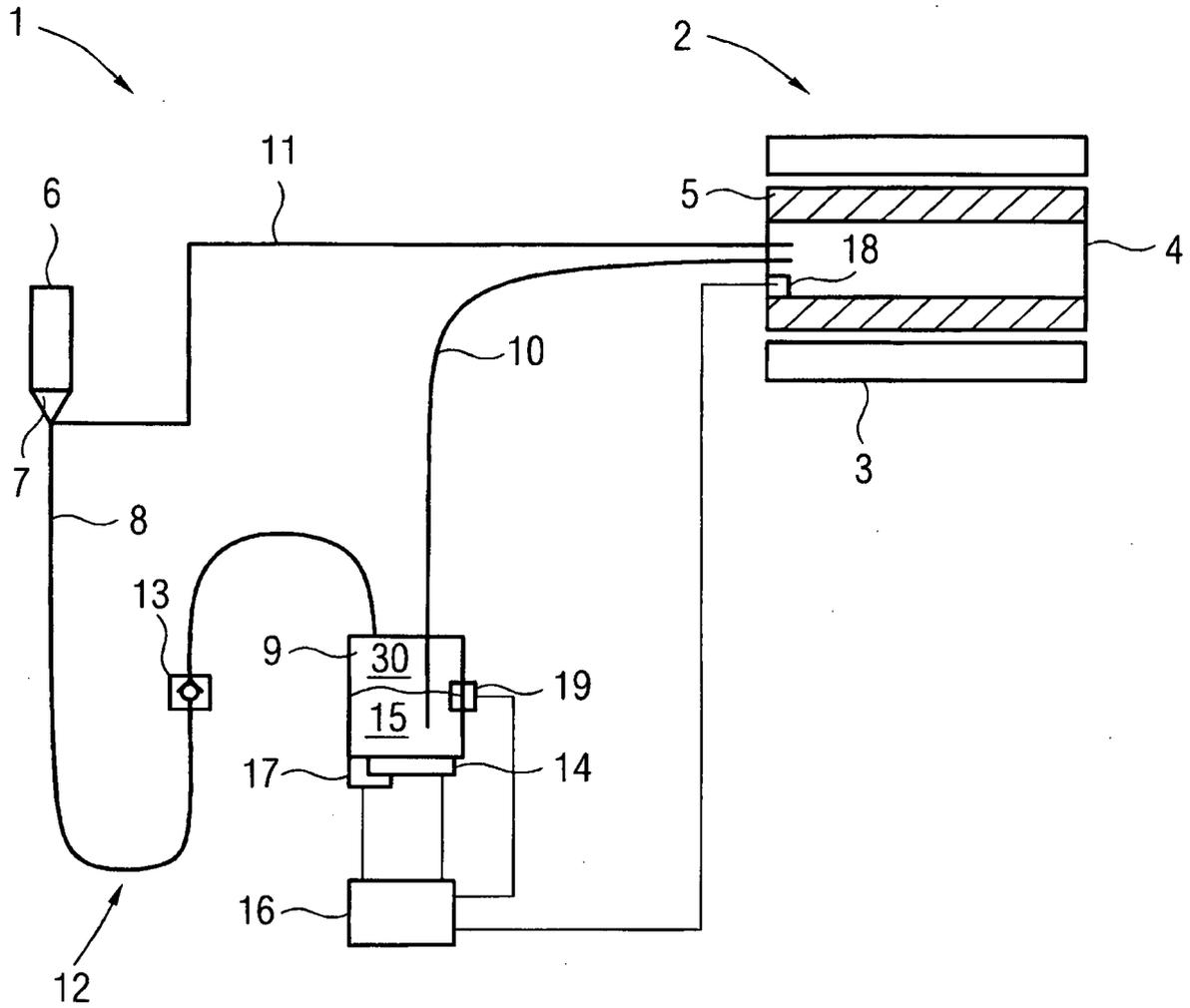


FIG 2

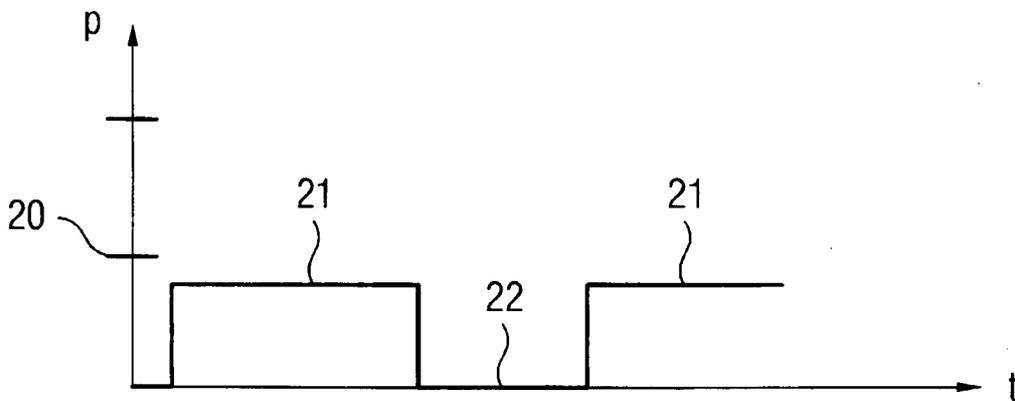


FIG 3

