

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 739 705**

51 Int. Cl.:

F28D 15/02 (2006.01)

F28D 15/06 (2006.01)

B63H 21/38 (2006.01)

H02K 55/04 (2006.01)

F25D 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.09.2011 PCT/EP2011/066167**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.03.2012 WO12038357**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.09.2011 E 11766911 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2019 EP 2606494**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para refrigerar una máquina superconductora**

30 Prioridad:

22.09.2010 DE 102010041194

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

03.02.2020

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Strasse 1
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**FRANK, MICHAEL y
VAN HASSELT, PETER**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 739 705 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 y procedimiento para refrigerar una máquina superconductora

La presente invención se refiere a un procedimiento para refrigerar una máquina superconductora, en el que al menos dos espacios de condensador en cada caso están en contacto térmico con un cabezal frío y en el que los al menos dos espacios de condensador en cada caso presentan un conducto de unión, a través de la cual los al menos dos espacios de condensador están conectados por fluidos con un espacio de evaporador.

Las máquinas superconductoras comprenden por regla general bobinas superconductoras, que deben refrigerarse de manera fiable al menos durante el funcionamiento de la máquina. Desde 1987 se conocen materiales superconductores de óxidos de metales con variaciones bruscas de temperatura T_c von más de 77 K. A estos materiales se les denomina también materiales superconductores de T_c alta (High) o materiales HTS y permiten principalmente una técnica de refrigeración con nitrógeno líquido (LN₂). Las máquinas, que comprenden bobinas con material HTS, pueden refrigerarse o hacerse funcionar por ejemplo por consiguiente con nitrógeno líquido (LN₂) o con neón líquido (LNe).

Para la refrigeración de arrollamientos con material HTS se utilizan preferiblemente instalaciones de enfriamiento en forma de los denominados criorefrigeradores con circuito cerrado de gas comprimido de He. Tales criorefrigeradores son en particular del tipo Gifford-McMahon o Stirling o están configurados como los denominados refrigeradores de tubo de pulsos. Tienen la ventaja de que su potencia frigorífica está disponible apretando un botón, por así decirlo y se evita el manejo de líquidos criogénicos. En el uso de tales instalaciones de enfriamiento el arrollamiento superconductor por ejemplo se refrigera indirectamente mediante conducción de calor hacia un cabezal frío de un refrigerador (compárese por ejemplo "Proc. 16th Int. Cryog. Engng. Conf. (ICEC 16)", Kitakyushu, JP, 20.-24.05.1996, Verlag Elsevier Science, 1997, páginas 1109 a 1129).

Una técnica de refrigeración, como se describe por ejemplo en el documento DE 103 21 463 A1 puede utilizarse para la refrigeración de rotores de máquinas eléctricas. El rotor contiene un arrollamiento giratorio a partir de conductores HTS, que se encuentran en un soporte del arrollamiento configurado como conductor de calor. Este soporte del arrollamiento está equipado con una cavidad cilíndrica, central que se extiende en dirección axial, a la que se unen lateralmente piezas de conducción tubulares que salen del soporte del arrollamiento. Estas piezas de conducción llevan hacia un espacio de condensador de una unidad frigorífica situada a más altura geodésica y forman junto con este espacio de condensador y la cavidad de rotor central un sistema de conducción cerrado de tubo único. En este sistema de conducción se encuentra un agente frigorífico o fluido de refrigeración que circula utilizando un así llamado efecto de termosifón. En este sentido se conduce fluido de refrigeración condensado en el espacio de condensador a través de las piezas de conducción tubulares hacia la cavidad central, donde debido al acoplamiento térmico con el soporte del arrollamiento y con ello con el arrollamiento HTS absorbe calor y se evapora. El fluido de refrigeración evaporado retorna entonces a través de las mismas piezas de conducción hacia el espacio de condensador, donde se condensa de nuevo. La potencia frigorífica requerida para este propósito se produce por una máquina refrigeradora cuyo cabezal frío está acoplado térmicamente al espacio de condensador.

El documento DE 10 58 758 A1 da a conocer un dispositivo para refrigerar una máquina superconductora con dos cabezales fríos que están conectados en cada caso a través de un conducto de unión con un criostato para refrigerar la máquina eléctrica.

El reflujo del agente refrigerante se impulsa a este respecto mediante una ligera sobrepresión en la cavidad central que actúa como parte de evaporador hacia las piezas de la máquina refrigeradora que actúan como condensador. Esta diferencia de presión genera mediante la formación de gas en la parte de evaporador y la licuación en el espacio de condensador, produce por lo tanto el reflujo de agente frigorífico deseado. Los flujos correspondientes de agente frigorífico se conocen en principio por los denominados "heat-pipes" (tubos de calor).

En el caso de la máquina conocida con refrigeración mediante termosifón por medio de una unidad frigorífica correspondiente, el transporte del agente refrigerante líquido se realiza por lo tanto solo utilizando la fuerza de gravedad, de modo que no son necesarios sistemas de bombeo adicionales. Esto requiere una unidad frigorífica o un espacio de condensador, que debe estar dispuesto obligatoriamente a una altura geodésica mayor que la máquina o el soporte del arrollamiento. Las desventajas asociadas a esto aparecen en particular en el caso de limitaciones espaciales de la estructura de la máquina y unidad frigorífica. Así, por ejemplo, en el caso de una máquina con eje de máquina dispuesto en perpendicular un objeto accionado con la máquina, por ejemplo un motor, puede estar dispuesto por encima de la máquina. La máquina está integrada en su entorno de tal manera que en el plano de la máquina no existe espacio libre alguno. La posición geodésica más alta es ocupada por el objeto accionado, y una disposición de la unidad frigorífica a una altura geodésica mayor no es posible en esta situación. También en aplicaciones complejas, como por ejemplo en automotores de ferrocarriles, por ejemplo desde normativas debido a alturas de líneas de contacto y/o de túneles la altura de construcción del automotor puede limitarse. En caso de tamaños de máquina dados, que se sitúan en el orden de magnitud de la normativa en cuanto a altura, incluso en una disposición horizontal del eje de máquina no podrá ser posible una disposición de la unidad frigorífica a una altura geodésica mayor que la máquina.

Otro caso en el que aparecen problemas en el caso de un flujo de agente refrigerante puramente impulsado por la gravedad se da en barcos o en equipos marinos. Si se desea utilizar un equipo de máquina descrito anteriormente en

5 barcos o equipos marinos, entonces debe contarse frecuentemente con posiciones inclinadas estáticas, un denominado "trim" (equilibrio horizontal), de por ejemplo hasta $\pm 5^\circ$ y/o con posiciones inclinadas dinámicas de por ejemplo hasta $\pm 7,5^\circ$ en dirección longitudinal. Para obtener un permiso de una sociedad de clasificación para el uso de un barco, por consiguiente el sistema de refrigeración de un equipo de máquina de este tipo a bordo de un vehículo acuático debe garantizar también bajo estas condiciones una refrigeración segura. Si se desea permitir las posiciones inclinadas mencionadas de la máquina, entonces existe el peligro de que una región de las piezas de conducción tubulares entre la cavidad de rotor central y la unidad frigorífica llegue a situarse a una altura geodésica inferior a la cavidad de rotor central. La consecuencia de esto es que el agente frigorífico bajo la influencia de la gravedad no pueda alcanzar la cavidad de rotor que va a refrigerarse. Una refrigeración de la máquina, y por consiguiente, su funcionamiento ya no quedarían con ello garantizados.

15 Para garantizar una refrigeración fiable también en posiciones inclinadas de la máquina, es posible disponer la máquina con respecto a la horizontal tan inclinada de modo que también en el caso de la posición de equilibrio horizontal mayor que va a adoptarse o amplitud de oscilación en el sistema de conducción de termosifón todavía existe un desnivel en la dirección hacia la cavidad de rotor. Una disposición inclinada de manera correspondiente, precisamente en la construcción naval en particular, con una longitud de máquina mayor, por motivos de una gran necesidad de espacio necesaria no es deseable. Como alternativa, en lugar de un sistema de conducción de tubo único para una circulación de agente frigorífico entre un espacio de condensador y el espacio de evaporador, en el que el agente frigorífico líquido y gaseoso fluyen a través de las mismas piezas de tubo desde y hacia el espacio de condensador, puede emplearse un sistema de conducción de dos tubos. A este respecto se utiliza el efecto de termosifón como se describe, por ejemplo, en el documento WO 00/13296 A. Sin embargo, en la región del árbol hueco del rotor debe preverse un rotor adicional para el agente frigorífico gaseoso. El espacio de condensador debe estar dispuesto a una altura geodésica suficiente con respecto al espacio de evaporador para garantizar a través de la gravedad un flujo fiable del fluido de refrigeración desde el espacio de condensador hacia el espacio de evaporador. Esto requiere un espacio de construcción que, por ejemplo, en barcos solo está disponible con limitaciones.

25 Otra alternativa representa el uso de una bomba mecánica y/o de válvulas mecánicas. El agente frigorífico puede hacerse circular de manera forzada mediante una instalación de bombeo. Sin embargo, para este propósito es necesario un gasto considerable en aparatos, en particular cuando el agente frigorífico presenta por ejemplo una temperatura de 25 a 30 K. Las instalaciones de circulación de este tipo provocan pérdidas considerables y apenas pueden satisfacer las exigencias de vida útil de la construcción naval con sus amplios intervalos de mantenimiento.

30 Por lo tanto el objetivo de la presente invención es indicar un procedimiento para refrigerar una máquina superconductora que haga posible una refrigeración fiable también en posiciones inclinadas de máquinas. A este respecto va a renunciarse a piezas mecánicamente móviles, como por ejemplo bombas mecánicas y válvulas, dado que estas en caso de temperaturas criogénicas son complejas, muy costosas y propensas a averías. Otro objetivo de la presente invención es indicar un procedimiento en el que un fluido de refrigeración también puede moverse en contra de la dirección o acción de la gravedad sin piezas mecánicamente móviles como, por ejemplo, bombas mecánicas y válvulas.

El objetivo indicado se resuelve con las características de la reivindicación 1, así como con las características de las reivindicaciones 2, 5 y 6.

40 Configuraciones ventajosas del procedimiento para refrigerar una máquina superconductora se desprenden de las reivindicaciones dependientes asociadas en cada caso.

45 Un dispositivo para llevar a cabo un procedimiento de acuerdo con la invención para refrigerar una máquina superconductora presenta al menos dos espacios de condensador, que en cada caso están en contacto térmico con un cabezal frío. A este respecto, los al menos dos espacios de condensador presentan en cada caso un conducto de unión a través del cual los al menos dos espacios de condensador están conectados por fluidos con un espacio de evaporador. Los al menos dos espacios de condensador están configurados de tal modo que un fluido de refrigeración puede moverse en forma líquida también contra la gravedad, desde al menos un espacio de condensador hacia el espacio de evaporador mediante una diferencia de presión entre una primera presión en el primer espacio de condensador y una segunda presión en el segundo espacio de condensador. Las presiones están determinadas en cada caso mediante la temperatura en los espacios de condensador (curva de ebullición del agente refrigerante).

50 Mediante el empleo de dos espacios de condensador, con un conducto de unión en cada caso hacia el espacio de evaporador, las temperaturas pueden ajustarse de manera diferente en los espacios de condensador a través de los cabezales fríos acopladas térmicamente en cada caso con los espacios de condensador. Esto hace posible el establecimiento de una diferencia de presión entre los espacios de condensador o su volumen de espacio interno, que se ha llenado con fluido de refrigeración líquido y/o gaseoso. En un espacio de condensador, en el que la temperatura se aumenta, se evapora líquido y/o el fluido de refrigeración se expande en forma gaseosa y la presión se aumenta. En un espacio de condensador, en el que la temperatura se baja o se reduce, la presión se reduce, dado que el agente de refrigeración gaseoso se condensa. Mediante una variación diferente de la temperatura en los espacios de condensador o a través de los cabezales fríos, se establece una diferencia de presión entre los espacios de condensador.

La diferencia de presión provoca un movimiento de fluido de refrigeración líquido desde al menos un conducto de unión hacia el espacio de evaporador. A este respecto, mediante una presión mayor en un espacio de condensador en comparación con el espacio de evaporador, que puede formarse mediante una presión mayor en un espacio de condensador en comparación con otro espacio de condensador, se mueve fluido de refrigeración en el tubo de unión de un espacio de condensador hacia el espacio de evaporador también contra la gravedad, si la diferencia de presión es suficientemente grande. A este respecto no son necesarias ningún tipo de piezas móviles como válvulas o bombas mecánicas.

Pueden emplearse también al menos tres espacios de condensador con un cabezal frío en cada caso, pudiendo ajustarse la temperatura de manera regulada o controlada en particular en los al menos tres espacios de condensador a través del cabezal frío asociado en cada caso de manera independiente entre sí. Ventajosamente, entonces al mismo tiempo en dos espacios de condensador la temperatura se baja y en un espacio de condensador la temperatura aumenta. A este respecto puede cambiarse de una manera sucesiva en el tiempo entre los espacios de condensador, en los que la temperatura aumenta y baja, aumentándose sin embargo en uno la temperatura y bajándose en el otro. Así se provoca que siempre fluya fluido de refrigeración líquido desde un tubo de unión y se garantice una refrigeración fiable. En los dos espacios de condensador, en los que la temperatura se baja, mientras que desde el conducto de unión del tercer espacio de condensador fluye fluido de refrigeración líquido hacia el espacio de evaporador, puede licuarse fluido de refrigeración gaseoso, que desde el espacio de evaporador fluye hacia los dos primeros espacios de condensador.

A través de los espacios de condensador, las uniones y el espacio de evaporador puede formarse un circuito de refrigeración cerrado, en particular aislado. No se pierde fluido de refrigeración alguno y un mantenimiento del circuito de refrigeración o una recarga de fluido de refrigeración no son necesarios, en particular cuando está previsto un depósito de compensación con dimensiones adecuadas.

El dispositivo puede estar lleno de un fluido de refrigeración, que comprende un líquido homogéneo, en particular nitrógeno líquido o neón líquido o se compone del mismo, o que comprende una mezcla de líquidos de refrigeración con diferentes temperaturas de condensación. La temperatura de evaporación del fluido de refrigeración determina la temperatura, a la que puede refrigerarse el arrollamiento superconductor o máquina, es decir que pueden emplearse materiales superconductores. La temperatura de condensación del fluido de refrigeración determina la temperatura a la que los cabezales de refrigeración deben refrigerar el espacio de condensador para licuar de nuevo el fluido de refrigeración evaporado, gaseoso. A través de mezclas o aditivos a los fluidos de refrigeración pueden ajustarse también temperaturas en las que el fluido de refrigeración se evapora o se licúa, que se sitúan entre temperaturas en las que sustancias puras como, por ejemplo, nitrógeno puro o helio puro se evaporan o se licúan.

La máquina superconductora puede ser un motor o un generador, en particular con un rotor con al menos un arrollamiento superconductor, estando dispuesto el rotor de manera que puede rotar alrededor de un eje. El arrollamiento superconductor puede componerse de material HTS o comprender este. Esto permite el uso de nitrógeno como fluido de refrigeración. La máquina puede utilizarse por ejemplo en barcos.

Los espacios de condensador y los cabezales fríos asociados en cada caso pueden estar dispuestos de manera estacionaria fuera del rotor, y el espacio de evaporador puede estar dispuesto de manera giratoria dentro del rotor, en particular como cavidad cilíndrica a lo largo del eje de rotación del rotor. Los tubos de unión pueden adentrarse según el principio de termosifón hacia el espacio de evaporador y estar fijados igualmente. Por ello se consiguen propiedades favorables de la máquina.

Un procedimiento de acuerdo con la invención para refrigerar una máquina superconductora, en particular empleando el efecto de termosifón, comprende las etapas en las que:

A) en un primer espacio de condensador, que está conectado térmicamente con un primer cabezal frío, una temperatura se aumenta, aumentándose la presión en el espacio de condensador, y moviéndose fluido de refrigeración líquido en un primer tubo de unión entre el primer espacio de condensador y un espacio de evaporador mediante el aumento de temperatura y/o expansión de gas hacia el espacio de evaporador, y

B) al mismo tiempo en al menos un segundo espacio de condensador, que está conectado térmicamente con un segundo cabezal frío una temperatura se baja, en particular una temperatura más baja que en el primer espacio de condensador, por lo cual fluido de refrigeración gaseoso en particular a través de un segundo tubo de unión entre el espacio de evaporador y el segundo espacio de condensador se mueve mediante el aumento de temperatura en el primer espacio de condensador y/o mediante la bajada de temperatura en el segundo espacio de condensador desde el espacio de evaporador hacia el segundo espacio de condensador.

Un procedimiento alternativo de acuerdo con la invención para refrigerar una máquina superconductora, en particular empleando el efecto de termosifón, comprende las etapas en las que

C) en un primer espacio de condensador, que está conectado térmicamente con un primer cabezal frío y que a través de un primer tubo de unión está conectado por fluidos con un espacio de evaporador, se mantiene constante una

temperatura,
y

5 D) al mismo tiempo en al menos un segundo espacio de condensador, que está conectado térmicamente con un segundo cabezal frío, una temperatura se baja, por lo cual se mueve fluido de refrigeración gaseoso a través de un segundo tubo de unión entre el espacio de evaporador y el segundo espacio de condensador mediante la bajada de temperatura en el segundo espacio de condensador desde el espacio de evaporador hacia el segundo espacio de condensador,
y

10 E) por lo que se mueve fluido de refrigeración líquido en el primer tubo de unión entre el primer espacio de condensador y el espacio de evaporador hacia el espacio de evaporador, mediante la bajada de temperatura en el al menos un segundo espacio de condensador.

15 A este respecto la diferencia de presión se establece o se refuerza mediante el aumento de temperatura en el primer espacio de condensador, por lo que mediante la sobrepresión que existe por este motivo en el primer espacio de condensador, también en comparación con la presión en el espacio de evaporador, se presiona fluido de refrigeración líquido hacia el espacio de evaporador. Un aumento de temperatura puede realizarse de manera sencilla y rápida, por lo que pueden generarse elevadas diferencias de presión y el fluido de refrigeración líquido puede moverse a través de grandes diferencias en altura en el intervalo de centímetros hasta metros contra la gravedad en el conducto de unión.

20 A este respecto la diferencia de presión se establece o se refuerza mediante la bajada de temperatura en el al menos un segundo espacio de condensador, por lo que mediante la sobrepresión que existe por este motivo en el primer espacio de condensador, también en comparación con la presión en el espacio de evaporador, se presiona fluido de refrigeración líquido hacia el espacio de evaporador. En la bajada de temperatura al mismo tiempo puede licuarse fluido de refrigeración gaseoso en el al menos un segundo espacio de condensador, que en un momento posterior puede moverse hacia el espacio de evaporador.

25 Al mismo tiempo al menos en un tercer espacio de condensador, que está conectado térmicamente con un tercer cabezal frío, una temperatura puede mantenerse constante o rebajarse. De este modo, por ejemplo, en las etapas C) a E) puede generarse una presión negativa más alta en el primer espacio de condensador y en poco tiempo puede moverse más fluido de refrigeración líquido hacia el espacio de evaporador. En las etapas A) y B) el efecto del establecimiento de una diferencia de presión entre primer y segundo espacio de condensador puede respaldarse mediante un tercer espacio de condensador e igualmente en poco tiempo puede moverse más fluido de refrigeración líquido hacia el espacio de evaporador.
30

35 Siguiendo directamente o indirectamente en el tiempo las etapas A) y B) o C) a E) en el al menos un espacio de condensador, en el que la temperatura en el momento de las etapas A) y B) o C) a E) se aumentó o se mantuvo constante, la temperatura puede reducirse o mantenerse constante. En la al menos una segunda, en particular el segundo o tercer espacio de condensador, en los que la temperatura en el momento de las etapas A) y B) o C) a E) se mantuvo constante o disminuyó, la temperatura puede aumentarse o mantenerse constante.

40 Un procedimiento alternativo adicional de acuerdo con la invención para refrigerar una máquina superconductora, en particular empleando el efecto de termosifón, comprende las etapas en las que en un primer espacio de condensador, que está conectado térmicamente con un primer cabezal frío, y en la que al mismo tiempo en al menos un segundo espacio de condensador, que está conectado térmicamente con un segundo cabezal frío, se aumenta, siendo la temperatura y/o aumento de temperatura en el primer espacio de condensador mayor que en el segundo espacio de condensador, por lo que en el primer espacio de condensador se evapora más fluido de refrigeración que en el segundo espacio de condensador y/o se expande más gas y/o se forma o se aumenta una diferencia de presión entre la presión en el primer y segundo espacio de condensador, por lo que se mueve fluido de refrigeración k líquido en un primer tubo de unión entre el primer espacio de condensador y un espacio de evaporador, y se mueve fluido de refrigeración k' gaseoso en particular a través de un segundo tubo de unión del espacio de evaporador hacia el segundo espacio de condensador.
45

50 Como alternativa en un procedimiento de acuerdo con la invención para refrigerar una máquina superconductora, en particular empleando el efecto de termosifón pueden estar comprendidas las etapas en las que en un primer espacio de condensador, que está conectado térmicamente con un primer cabezal frío, y en la que al mismo tiempo en al menos un segundo espacio de condensador, que está conectado térmicamente con un segundo cabezal frío, una temperatura disminuye, siendo la temperatura en el primer espacio de condensador menor que en el segundo espacio de condensador y/o siendo la disminución de temperatura en el primer espacio de condensador mayor que en el segundo espacio de condensador, por lo que en el primer espacio de condensador se condensa más fluido de refrigeración que en el segundo espacio de condensador y/o se comprime más gas y/o se forma o se aumenta una diferencia de presión entre la presión en el primer y segundo espacio de condensador, por lo que se mueve fluido de refrigeración k líquido en un segundo tubo de unión entre el segundo espacio de condensador y un espacio de evaporador, y se mueve fluido de refrigeración k' gaseoso en particular a través de un primer tubo de unión del espacio de evaporador hacia el primer espacio de condensador.
55

En los dos procedimientos mencionados en último lugar al mismo tiempo al menos en un tercer espacio de condensador, que está conectado térmicamente con un tercer cabezal frío, una temperatura puede aumentarse, mantenerse igual o reducirse.

5 De una manera sucesiva directamente o indirectamente en el tiempo en espacios de condensador, en los que la temperatura se aumentó, la temperatura puede disminuirse, y/o de una manera consecutiva en el tiempo de directa o indirectamente en espacios de condensador, en los que la temperatura se redujo, la temperatura puede aumentarse. Las ventajas anteriormente descritas para procedimientos con al menos tres espacios de condensador, en los que sus funciones se intercambian en el tiempo, se aplican igualmente en este sentido.

10 El procedimiento puede llevarse a cabo de este modo como un proceso continuo o pulsado de bombeo del fluido de refrigeración líquido hacia el espacio de evaporador.

Una bajada de temperatura puede realizarse mediante refrigeración con ayuda al menos de un cabezal frío. Un aumento de temperatura puede realizarse con ayuda al menos de un cabezal frío y/o mediante calentamiento con ayuda de un equipo de calefacción.

15 Un movimiento de fluido de refrigeración puede realizarse exclusivamente regulado o controlado a través de diferencias de presión y/o temperatura en los espacios de condensador y el espacio de evaporador, en particular en el caso de una compensación de presión mediante movimiento de fluido de refrigeración y/o en particular contra la gravedad. Ya no tienen que emplearse más válvulas o bombas mecánicas para mover fluido de refrigeración líquido en un conducto de unión también contra la gravedad hacia el espacio de evaporador. Se evitan de este modo problemas en piezas mecánicas en caso de criotemperaturas y se reducen gastos y costes de mantenimiento.

20 En el espacio de evaporador el fluido de refrigeración puede pasar de un estado líquido a un estado gaseoso y refrigerar un equipo superconductor giratorio, en particular un arrollamiento superconductor de un rotor de un motor o de un generador, en donde el arrollamiento superconductor en particular comprende material HTS. El espacio de evaporador puede estar dispuesto de manera giratoria dentro del rotor, en particular como cavidad cilíndrica a lo largo del eje de rotación del rotor.

25 Los al menos dos cabezales fríos y los al menos dos espacios de condensador, y en particular los al menos dos tubos de unión, que en particular están cercados por un tubo global que envuelve los tubos de unión, pueden disponerse de manera estacionaria. La envoltura de los tubos de unión mediante un tubo global hace posible una reducción del número de juntas y cojinetes durante la transición de las piezas fijas a las piezas giratorias.

30 Formas de realización preferidas de la invención con perfeccionamientos ventajosos según las características de las reivindicaciones dependientes se describen con más detalle a continuación mediante las figuras, aunque sin estar limitadas a las mismas.

Se representa en las figuras:

la figura 1 una representación seccionada esquemática de una máquina superconductora 2 con un dispositivo para la refrigeración según el estado de la técnica, y

35 la figura 2 una representación esquemática simplificada de un dispositivo para la refrigeración que es adecuado para la realización de un procedimiento de acuerdo con la invención.

En las figuras las piezas correspondientes están provistas con los mismos números de referencia.

40 Las máquinas de acuerdo con las figuras comprenden en cada caso un estator y rotor así como una unidad frigorífica asociada. La forma de realización de la máquina indicada a continuación puede ser en particular un motor síncrono o un generador. La máquina comprende un arrollamiento superconductor giratorio que emplea principalmente material metálico LT (material superconductor de T_c baja) o material HTS oxidico (material superconductor de T_c alta). Los siguientes ejemplos de realización toman como base este material. El arrollamiento puede estar compuesto por una bobina o un sistema de bobinas en una disposición de dos, cuatro o más polos. La estructura principal de un motor síncrono correspondiente se deduce de la figura 1, tal como se conoce por el estado de la técnica.

45 La máquina señalada con 2 comprende una carcasa 3 externa estacionaria, que se encuentra a temperatura ambiente con un arrollamiento 4 del estator. Dentro de la carcasa externa, y cercado por el arrollamiento 4 del estator un rotor 5 está alojado de manera giratoria alrededor de un eje de rotación A en cojinetes 6. Estos cojinetes pueden ser cojinetes mecánicos convencionales o también cojinetes magnéticos. El rotor presenta además un depósito 7 de vacío en el que en elementos 8 de suspensión que transmiten el momento de torsión, por ejemplo en forma de cilindro hueco está sujeto un soporte 9 del arrollamiento con un arrollamiento HTS 10. En este soporte del arrollamiento, concéntricamente al eje de rotación A existe una cavidad 12 central que se extiende en dirección axial que, por ejemplo, tiene una forma cilíndrica. El soporte del arrollamiento está realizado a este respecto a prueba de vacío con respecto a esta cavidad central. Este soporte aísla esta en un lado del rotor que está alojado en este lado por medio de una pieza 5a de árbol de rotor axial maciza. En el árbol enfrentado la cavidad 12 central está conectada a una cavidad lateral 13 con diámetro comparativamente menor. Esta cavidad lateral conduce desde la región del soporte del arrollamiento hasta más allá de

la región de la carcasa 3 externa. Una pieza de árbol de rotor que cerca esta cavidad 13 lateral, alojada en uno de los cojinetes, en forma de tubo, está señalada con 5b.

5 Para la refrigeración indirecta del arrollamiento 10 HTS a través de piezas conductoras de calor está prevista una unidad frigorífica, de la que únicamente está indicado un cabezal 16 frío. Esta unidad frigorífica puede ser un criorefrigerador del tipo Gifford-McMahon o en particular un criorefrigerador regenerativo como, por ejemplo, un refrigerador de tubo de pulsos o un refrigerador de ciclo Stirling. A este respecto el cabezal frío 16 y con él todas las piezas esenciales adicionales de la unidad frigorífica se encuentran fuera del rotor 5 o su carcasa externa 3.

10 La pieza fría de cabezal 16 frío dispuesta por ejemplo varios lateralmente del rotor 5 está en contacto térmico adecuado en un depósito 23 de vacío 23 a través de un cuerpo de transmisión 17 de calor con una unidad de condensación de agente frigorífico, que presenta un espacio 18 de condensador. A este espacio de condensador está conectado un tubo 20 de calor estacionado aislado al vacío, que se adentra lateralmente en una región axial en la cavidad 13 lateral que gira al mismo tiempo o la cavidad 12 central. Para la obturación del tubo 20 de calor con respecto a la cavidad 13 lateral sirve un equipo 21 de obturación no representado con más detalle en la figura con al menos un elemento de obturación que puede estar configurado como una junta de ferrofluido y/o una junta laberíntica y/o una junta con ranuras. A través del tubo 20 de calor y la cavidad 13 lateral, la cavidad central 12 está conectada obturada de una manera estanca a los gases hacia fuera con la región de intercambio de calor del espacio 18 de condensador. Las piezas tubulares que discurren entre la cavidad central 12 y el espacio 18 de condensador que sirven para el alojamiento de un agente frigorífico están designadas en general como piezas 22 de conducción. Estas piezas de conducción se contemplan junto con el espacio de condensador 18 y la cavidad central 12 como un sistema de conducción.

20 Estos espacios de un sistema de conducción se han llenado con un agente frigorífico que se selecciona según la temperatura de funcionamiento deseada del arrollamiento 10 HTS. De este modo se tienen en cuenta, por ejemplo, helio (temperatura de condensación 4,2 K a presión normal), hidrógeno (temperatura de condensación 20,4 K a presión normal), neón (temperatura de condensación 27,1 K a presión normal), nitrógeno (temperatura de condensación 77,4 K a presión normal) o argón (temperatura de condensación 87,3 K a presión normal). También pueden preverse mezclas de estos gases. La circulación del agente frigorífico se realiza a este respecto utilizando un así llamado efecto de termosifón. Para este propósito, en una superficie fría del cabezal 16 frío en la región del espacio 18 de condensador el agente frigorífico se condensa. A continuación el agente frigorífico licuado de este modo, señalado con k fluye a través de las piezas 22 de conducción hacia la cavidad central 12. El transporte del condensado sucede a este respecto bajo la influencia de la gravedad. Para este propósito, ventajosamente el tubo 20 de calor puede estar ligeramente inclinado (solo algunos grados) con respecto al eje de rotación A en la dirección al centro de la tierra para respaldar de este modo una salida del agente refrigerante k líquido desde el extremo 20a abierto del tubo 20. En el interior del rotor entonces el agente frigorífico líquido se evapora. El agente frigorífico en forma de vapor está señalado con k'. Este agente frigorífico evaporado mediante la absorción de calor retorna entonces a través del interior de las piezas 22 de conducción a el espacio 18 de condensador. En este sentido el reflujo se incita mediante una ligera sobrepresión en la cavidad 12 que actúa como evaporador en la dirección hacia el espacio 18 de condensador que se provoca mediante la formación de gas en el evaporador y la licuación en el espacio de condensador. Dado que la circulación del agente frigorífico licuado desde el espacio 18 de condensador hacia la cavidad 12 central y el flujo inverso del agente frigorífico evaporado k' desde esta cavidad central de vuelta al espacio de condensador se realiza en el sistema de conducción tubular formado por el espacio de condensador 18, las piezas de conducción 22 y la cavidad 12, puede hablarse de un sistema de único tubo con una circulación del agente refrigerante k, k' utilizando un efecto de termosifón.

45 Tal como se representa en la figura 1 además, en el caso de utilización de la máquina 2 en barcos o en equipos marinos puede aparecer una posición inclinada en la que el eje de rotación A esté inclinado algunos grados con respecto a la horizontal H en un ángulo δ . Aunque entonces se sigue realizando una condensación del agente refrigerante en el espacio de condensador 18; sin embargo el agente frigorífico ya no puede llegar a la cavidad 12 central, de modo que entonces las piezas de conducción 20 se llena paulatinamente por completo con agente frigorífico k líquido. En el caso de un volumen de llenado comparativamente bajo del sistema de conducción con agente frigorífico entonces el espacio interno del rotor o la cavidad 12 puede marchar en seco y por consiguiente ya no se refrigera. También en el caso de un volumen de llenado mayor del sistema de conducción la corriente del agente refrigerante k líquido en las piezas 20 de conducción hacia el espacio de evaporador 12 se bloquea tras cierto tiempo. Una refrigeración segura del rotor o su arrollamiento superconductor en este caso tampoco están ya garantizados.

55 Según el estado de la técnica puede estar previsto, por lo tanto, que en este estado la presión de gas en el lado del condensador haya de aumentarse brevemente hasta que mediante ello el líquido de agente frigorífico se presione desde las piezas 20 de conducción contra la gravedad (con la presencia del ángulo de inclinación δ) hacia la cavidad 12 central. Tal aumento de presión se realiza según el estado de la técnica con ayuda un volumen tampón PV_w caliente y una bomba mecánica 28. Con ayuda de estos medios la presión de gas en el espacio 18 de condensador puede aumentarse provisionalmente, de modo que el agente frigorífico k líquido situado allí y en las piezas 20 de conducción se presiona hacia la cavidad 12 central. En un conducto 24 de unión entre el volumen tampón PV_w sometido a sobrepresión y el espacio 18 de condensador está dispuesta por tanto una válvula 29 de mando que abre la unión a la bomba 28 que transporta entonces el gas k' desde el volumen tampón hacia el espacio de condensador. Una válvula 30 permite un retorno de gas excedente desde el espacio de condensador 18.

ES 2 739 705 T3

Una oscilación de presión provocada de este modo puede realizarse permanentemente, es decir en intervalos de tiempo breves, que se repiten (en cada caso de una duración breve), o puede controlarse mediante un sensor 26 de posición de modo de construcción conocido mediante una unidad 27 de control. Este sensor de posición detecta la posición inclinada con el ángulo δ de inclinación de la máquina 2 y desencadena de este modo a través de la unidad 27 de control la introducción de un volumen de presión (gas pulsado) que se ha explicado.

En la figura 1 se ha prescindido de una representación de piezas adicionales para facilitar y evacuar el gas como, por ejemplo, de una válvula de carga desde la cual el sistema a través del conducto 24 de unión debe llenarse con agente frigorífico gaseoso, dado que estas piezas son conocidas en general. Únicamente está indicada una válvula 31 de sobrepresión que reacciona en el caso de una sobrepresión inadmisibles en el sistema.

Naturalmente las piezas o recipientes que cercan el agente frigorífico k o k' deben estar protegidas contra la introducción del calor. Para su aislamiento térmico se prevé por lo tanto convenientemente un entorno de vacío, pudiendo preverse dado el caso en los espacios de vacío correspondientes adicionalmente un medio de aislamiento como, por ejemplo superaislamiento o espuma aislante. En la figura 1 el vacío incluido por el depósito de vacío 7 está señalado con V. Rodea además el tubo que cerca la cavidad lateral 13, que se extiende hasta la junta 21. El vacío que cerca el tubo 20 de calor así como el espacio 18 de condensador y el cuerpo 17 de transmisión de calor está señalado con V'. Dado el caso puede generarse una presión negativa también en el espacio 32 interno que rodea el rotor 5, cercado por la carcasa externa 3.

En un sistema de la bomba mecánica 28 y válvulas 29, 30, 31 es desventajoso que en una disposición de las piezas no representada por simplicidad en una región criogénica, en caso de temperaturas criogénicas estas piezas son muy propensas a averías y el diseño de piezas móviles a estas temperaturas es complejo y muy costoso. Precisamente en cuanto a la aplicación en barcos, pero también en el caso de otras aplicaciones típicas en máquinas es necesario un funcionamiento exento de mantenimiento durante largos periodos de tiempo. Por lo tanto, las piezas mecánicamente móviles están reducidas a un mínimo dado que estas, por regla general son propensas a averías.

Según la invención, como se representa en la figura 2, en una máquina 2 anteriormente descrita se aplica un principio de refrigeración novedoso. A este respecto puede prescindirse de piezas como bomba 28 y válvulas 29, 30, 31, en donde todas las otras piezas de la máquina son análogas a las de la máquina descrita anteriormente en la figura 1, siempre y cuando no se indique otra cosa.

En oposición al dispositivo representado en la figura 1 con un cabezal frío 16 y un espacio 18 de condensador el ejemplo de realización representado en la figura 2 del dispositivo de acuerdo con la invención para refrigerar una máquina superconductora 2 presenta un primer, segundo y tercer espacio 18, 18', 18" de condensador en cada caso con un cabezal frío 16, 16', 16" asociado. Como alternativa, también pueden existir dos o más de tres espacios de condensador 18 con cabezales fríos 16 asociados, que por simplicidad no está representado en la figura. Cada espacio 18, 18', 18" de condensador está conectado por fluidos a través de un tubo 20, 20', 20" de calor, que en lo sucesivo se denomina en general conducto 20, 20', 20" de unión con el espacio de evaporador 12, que en la figura 1 está dada por la cavidad central 12. Los conductos 20, 20', 20" de unión están configurados y dispuestos inclinados en forma de V o U deformadas, es decir son ligeramente oblicuos con respecto a la horizontal H como se representa en la figura 1, con un punto más profundo en el que bajo la influencia de la gravedad puede acumularse un fluido. Sin embargo, los conductos 20, 20', 20" de unión pueden presentar también otras formas, siendo importante que análogamente a un manómetro de tubo en U pueda acumularse líquido en su interior.

Los espacios 18, 18', 18" de condensador con los conductos 20, 20', 20" de unión respectivos y el espacio de evaporador 12 forman un sistema cerrado, es decir un espacio interno estanco a los fluidos hacia fuera. El espacio interno se ha llenado con un agente frigorífico k , k' , que en lo sucesivo se denomina fluido de refrigeración. El fluido de refrigeración puede presentarse en el estado físico líquido k y/o gaseoso k' , es decir como fluido de refrigeración k líquido y/o como fluido de refrigeración k' gaseoso.

En el funcionamiento de la máquina, en el que el arrollamiento superconductor 10 del rotor 5, como ya se ha descrito anteriormente en la figura 1, se refrigera a o bajo una temperatura criogénica T_k , el espacio de evaporador 12 está parcialmente llena con fluido de refrigeración k líquido. El fluido de refrigeración k se evapora y evacúa por este motivo dese e 5 ab o refrigera die arrollamiento superconductor 10 del rotor 5. En la figura 2 se muestra el dispositivo de acuerdo con la invención para refrigerar una máquina superconductora 2 en un primer momento. En este momento el fluido de refrigeración k' evaporado, gaseoso se conduce desde el espacio de evaporador 12 a través de los conductos 20' y 20" de unión hacia los espacios 18' y 18" de condensador. En los espacios 18' y 18" de condensador se presenta una temperatura T_2 y T_3 por debajo de la temperatura de condensación del fluido de refrigeración k , en cada caso con ayuda de los cabezales 16' y 16" de refrigeración asociados, por lo que del fluido de refrigeración gaseoso k' se extrae cantidad de calor y se condensa para formar fluido de refrigeración k líquido. El fluido de refrigeración k líquido se acumula en los conductos 20' y 20" de unión.

En el primer espacio de condensador 18, partiendo de una temperatura por debajo de la temperatura de condensación del fluido de refrigeración k la temperatura T_1 se aumenta con ayuda del cabezal frío 16 asociado y/o un equipo de calefacción no mostrado por simplicidad a una temperatura T_1^* por encima de la temperatura de condensación del fluido de refrigeración k . A este respecto se evapora fluido de refrigeración líquido y/o el fluido de refrigeración gaseoso k' se

5 expande en el primer espacio de condensador 18, es decir la presión p_1 en el primer espacio 18 de condensador se aumenta en un valor que es superior a las presiones p_v en el espacio de evaporador 12 y en las otras dos espacios 18', 18" p_2 y p_3 de condensador. Por ello se presiona fluido de refrigeración k líquido, que se encuentra en el conducto de unión 20, hacia el espacio 12 de evaporador, contra la acción de la gravedad en el caso de una fuerza de presión que es mayor que el peso del fluido de refrigeración k. El fluido de refrigeración k desde el espacio 18 de condensador y el conducto 20 de unión se presiona hacia el espacio 12 de evaporador.

10 Este efecto se refuerza adicionalmente mediante una presión negativa p_1 y p_2 en los espacios de condensador 18' y 18", que se forma mediante la reducción del volumen del fluido de refrigeración k' gaseoso en el caso de refrigeración y condensación en los espacios 18' y 18" de condensador. Esta presión negativa aspira fluido de refrigeración k' gaseoso desde el espacio 12 de evaporador hacia los conductos 20' y 20" de unión y reduce de este modo la presión p_v en el espacio 12 de evaporador. La diferencia de presión $\Delta p(p_1-p_v)$ entre el primer espacio 18 de condensador y el espacio 12 de evaporador se intensifica por este motivo, y adicionalmente a la compensación de presión se mueve l fluido de refrigeración k líquido desde el conducto 20 de unión hacia el espacio 12 de evaporador.

15 El proceso anteriormente descrito termina entre otros, cuando el fluido de refrigeración k líquido se ha movido desde el conducto 20 de unión por completo o al menos casi por completo hacia el espacio 12 de evaporador. Para garantizar una refrigeración continua o un flujo de fluido de refrigeración continuo, casi continuo o pulsado, de fluido de refrigeración k líquido hacia el espacio de evaporador 12, puede realizarse a tiempo un cambio de las temperaturas T_1 , T_2 , T_3 en los espacios 18, 18', 18" de condensador a través de los cabezales 16, 16', 16" de refrigeración. A este respecto, el espacio 18 de condensador puede refrigerarse a una temperatura por debajo de la temperatura de condensación del fluido de refrigeración a través del cabezal 16 de refrigeración, presentando por ejemplo los espacios 18 y 18 de condensador la misma temperatura. El espacio 18' de condensador puede calentarse a través del cabezal 16' de refrigeración o un equipo de calefacción no mostrado por simplicidad a una temperatura, que se sitúa por encima de la temperatura de condensación del fluido de refrigeración. Esto provoca que en un segundo momento, descrito en este párrafo, el espacio 18' de condensador actúa como el espacio 18 de condensador en el primer momento, y en el segundo momento los espacios 18 y 18" de condensador actúan como los espacios 18' y 18 de condensador en el primer momento. En el espacio 18' de condensador mediante el aumento de la temperatura se establece una sobrepresión y se mueve fluido de refrigeración k líquido desde el conducto 20' de unión hacia el espacio 12 de evaporador. Dado que la situación es análoga a la situación representada en la figura 2, solo con intercambio de funciones (temperaturas, presiones y flujos de fluido) entre los espacios de condensador 18, 18' y 18", la situación o el proceso en el segundo momento en el segundo momento no están representados por simplicidad en las figuras.

35 En un tercer momento la acción de los espacios de condensador 18, 18', 18" puede intercambiarse igualmente, en donde el espacio 18" de condensador puede llevarse a una temperatura por encima de la temperatura de evaporación del fluido de refrigeración k con ayuda del cabezal 16" de refrigeración. Los espacios 18 y 18' de condensador pueden presentar a este respecto por ejemplo la misma temperatura, una temperatura por debajo de la temperatura de condensación del fluido de refrigeración k'. El espacio 18" de condensador puede calentarse a través del cabezal 16" de refrigeración o un equipo de calefacción no mostrado por simplicidad a una temperatura, que se sitúa por encima de la temperatura de condensación del fluido de refrigeración. Esto provoca que en el tercer momento el espacio 18" de condensador actúe como el espacio 18 de condensador en el primer momento, y en el tercer momento los espacios 18 y 18' de condensador actúen como los espacios 18' y 18" de condensador en el primer momento. En el espacio 18" de condensador mediante el aumento de la temperatura se establece una sobrepresión y se mueve fluido de refrigeración k líquido desde el conducto 20" de unión hacia el espacio 12 de evaporador. Dado que la situación es análoga a la situación representada en la figura 2, aunque con intercambio de funciones (temperaturas, presiones y flujos de fluido) entre los espacios 18, 18' y 18" de condensador la situación o el proceso en el tercer momento por simplicidad tampoco no están representados en la figura.

45 En un cuarto momento el estado del primer momento puede restablecerse. Mediante un intercambio regular de las acciones de los espacios 18, 18', 18" de condensador después de un periodo de tiempo fijado o después de diferentes momentos, puede garantizarse de este modo un funcionamiento continuo, casi continuo o pulsado del dispositivo para refrigerar una máquina superconductora 2.

50 También son posibles discrecionalmente otros órdenes en el intercambio de la acción de los espacios 18, 18', 18" de condensador, en donde el principio básico no cambia. Puede garantizarse de este modo un funcionamiento de refrigeración seguro, incluso en una inclinación de la máquina 2 por ejemplo, cuando se aplica en un barco.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para refrigerar una máquina superconductora (2), en particular empleando el efecto de termosifón, que comprende las etapas

5 A) en la que en un primer (18, 18', o 18'') espacio de condensador que está conectado térmicamente con un primer cabezal frío (16, 16'', o 16'''), se aumenta una temperatura (T_1 , T_2 , o T_3), en donde se evapora fluido de refrigeración y/o se expande gas en el espacio (18, 18', o 18'') de condensador y/o la presión (p_1 , p_2 , o p_3) en el espacio (18, 18', o 18'') de condensador se aumenta, y se mueve fluido de refrigeración k líquido en un primer tubo (20, 20', o 20'') de unión entre el primer espacio (18, 18', o 18'') de condensador y un espacio (12) de evaporador mediante el aumento de temperatura, vaporización y/o expansión de gas hacia el espacio de evaporador (12),

10 y
 B) en la que al mismo tiempo en al menos un segundo espacio de condensador (18, 18', o 18''), que está conectado térmicamente con un segundo cabezal frío (16, 16', o 16''), se baja una temperatura (T_1 , T_2 , o T_3), en particular una temperatura más baja (T_1 , T_2 , o T_3) que en el primer espacio (18, 18', o 18'') de condensador, por lo cual se mueve fluido de refrigeración k' gaseoso en particular a través de un segundo tubo (20, 20', o 20'') de unión del espacio (12) de evaporador hacia el segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador mediante el aumento de temperatura en el primer espacio (18, 18', o 18'') de condensador y/o mediante la bajada de temperatura en el segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador.

20 2. Procedimiento para refrigerar una máquina superconductora (2) en particular empleando el efecto de termosifón, que comprende las etapas,

C) en la que en un primer espacio (18, 18', o 18'') de condensador que está conectado térmicamente con un primer cabezal frío (16, 16', o 16'') y que a través de un primer tubo de unión (20, 20', o 20'') está conectado por fluidos con un espacio (12) de evaporador, una temperatura (T_1 , T_2 , o T_3) se mantiene constante, y

25 D) en la que al mismo tiempo en al menos un segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador, que está conectado térmicamente con un segundo cabezal frío (16, 16', o 16''), una temperatura (T_1 , T_2 , o T_3) se baja, por lo cual se mueve fluido de refrigeración k' gaseoso a través de un segundo tubo (20, 20', o 20'') de unión entre el espacio (12) de evaporador y el segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador mediante la bajada de temperatura, una condensación de fluido de refrigeración y/o una compresión de gas en el segundo espacio de condensador (18, 18', o 18'') desde el espacio (12) de evaporador hacia el segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador,

30 y
 E) por lo cual se mueve fluido de refrigeración k líquido en el primer tubo (20, 20', o 20'') de unión entre el primer espacio (18, 18', o 18'') de condensador y el espacio (12) de evaporador hacia el espacio (12) de evaporador, mediante la bajada de temperatura, una condensación de fluido de refrigeración y/o una compresión de gas en el al menos un segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador.

40 3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque al mismo tiempo al menos en un tercer espacio (18, 18', o 18'') de condensador, que está conectado térmicamente con un tercer cabezal frío (16, 16', o 16''), una temperatura (T_1 , T_2 , o T_3) se mantiene constante o se baja.

45 4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque siguiendo directamente o indirectamente en el tiempo las etapas A) y B) o C) a E) en el al menos un espacio (18, 18', o 18'') de condensador, en el que la temperatura (T_1 , T_2 , o T_3) en el momento de las etapas A) y B) o C) a E) se aumentó o se mantuvo constante, la temperatura (T_1 , T_2 , o T_3) se reduce o se mantiene constante, y porque en el al menos un segundo, en particular el segundo o tercer espacio (18, 18', o 18'') de condensador, en los que la temperatura (T_1 , T_2 , o T_3) en el momento de las etapas A) y B) o C) a E) se mantuvo constante o se redujo, la temperatura (T_1 , T_2 , o T_3) se aumenta o se mantiene constante.

50 5. Procedimiento para refrigerar una máquina superconductora (2), en particular empleando el efecto de termosifón, que comprende las etapas, en la que en un primer espacio (18, 18', o 18'') de condensador, que está conectado térmicamente con un primer cabezal frío (16, 16', o 16''), y en la que al mismo tiempo en al menos un segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador, que está conectado térmicamente con un segundo cabezal frío (16, 16', o 16''), una temperatura (T_1 , T_2 , o T_3) se aumenta, en donde la temperatura y/o aumento de temperatura en el primer espacio (18, 18', o 18'') de condensador es mayor que en el segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador, por lo que en el primer espacio (18, 18', o 18'') de condensador se evapora más fluido de refrigeración que en el segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador y/o se expande más gas y/o se forma o se aumenta una diferencia de presión entre la presión (p_1 , p_2 , o p_3) en el primer y segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador, por lo que se mueve fluido de refrigeración k líquido en un primer tubo (20, 20', o 20'') de unión entre el primer espacio (18, 18', o 18'') de condensador y un espacio (12) de evaporador, y se mueve fluido de refrigeración k' gaseoso en particular a través de un segundo tubo (20, 20', o 20'') de unión del espacio (12) de evaporador hacia el segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador.

- 5 6. Procedimiento para refrigerar una máquina superconductora (2) en particular empleando el efecto de termosifón, que comprende las etapas, en la que en un primer espacio (18, 18', o 18'') de condensador, que está conectado térmicamente con un primer cabezal frío (16, 16', o 16''), y en la que al mismo tiempo en al menos un segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador, que está conectado térmicamente con un segundo cabezal frío (16, 16', o 16''), se reduce una temperatura (T_1 , T_2 , o T_3), en donde la temperatura en el primer espacio (18, 18', o 18'') de condensador es menor que en el segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador y/o la disminución de temperatura en el primer espacio (18, 18', o 18'') de condensador es mayor que en el segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador, por lo que en el primer espacio (18, 18', o 18'') de condensador se condensa más fluido de refrigeración que en el segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador y/o se comprime más gas y/o se forma o se aumenta una diferencia de presión entre la presión (p_1 , p_2 , o p_3) en el primer y segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador, por lo que se mueve fluido de refrigeración k líquido en un segundo tubo (20, 20', o 20'') de unión entre el segundo espacio (18, 18', o 18'') de condensador y un espacio (12) de evaporador, y se mueve fluido de refrigeración k' gaseoso en particular a través de un primer tubo (20, 20', o 20'') de unión del espacio (12) de evaporador hacia el primer espacio (18, 18', o 18'') de condensador.
- 10 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 5 o 6, caracterizado porque al mismo tiempo al menos en un tercer espacio (18, 18', o 18'') de condensador, que está conectado térmicamente con un tercer cabezal frío (16, 16', o 16''), una temperatura (T_1 , T_2 , o T_3) aumenta, se mantiene igual o se reduce.
- 15 8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado porque de una manera sucesiva directamente o indirectamente en el tiempo en espacios (18, 18', o 18'') de condensador, en los que se aumentó la temperatura (T_1 , T_2 , o T_3), la temperatura (T_1 , T_2 , o T_3) se reduce, y/o por que de una manera sucesiva directamente o indirectamente en el tiempo en espacios (18, 18', o 18'') de condensador, en los que la temperatura (T_1 , T_2 , o T_3) se redujo, la temperatura (T_1 , T_2 , o T_3) se aumenta.
- 20 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el procedimiento se lleva a cabo como un proceso continuo o pulsado del bombeo del fluido de refrigeración k líquido hacia el espacio (12) de evaporador.
- 25 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque una bajada de temperatura se realiza mediante refrigeración con ayuda al menos de un cabezal frío (16, 16', 16'') y/o un aumento de temperatura con ayuda al menos de un cabezal frío (16, 16', 16'') y/o mediante calentamiento con ayuda de un equipo de calefacción .
- 30 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se realiza un movimiento de fluido de refrigeración k , k' exclusivamente regulado o controlado a través de diferencias de presión y/o temperatura en los espacios (18, 18', 18'') de condensador y el espacio (12) de evaporador, en particular en el caso de una compensación de presión mediante movimiento de fluido de refrigeración y/o en particular contra la gravedad.
- 35 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en el espacio (12) de evaporador el fluido de refrigeración pasa de un estado k líquido a un estado gaseoso k' y refrigera un equipo superconductor giratorio, en particular un arrollamiento superconductor (10) de un rotor (5) de un motor o de un generador, en donde el arrollamiento superconductor (10) en particular comprende material HTS y/o en donde el espacio (12) de evaporador se dispone de manera giratoria dentro del rotor (5), en particular como cavidad cilíndrica (12, 13) a lo largo del eje de rotación (A) del rotor (5).
- 40 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los al menos dos cabezales fríos (16, 16', 16'') y los al menos dos espacios (18, 18', 18'') de condensador y en particular los al menos dos tubos (20, 20', 20'') de unión, que en particular están cercados por un tubo global que envuelve los tubos de unión (20, 20', 20''), se disponen de manera estacionaria.



