

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 546 987**

51 Int. Cl.:

**H02K 3/46** (2006.01)

**H02K 55/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.09.2011** **E 11766938 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.06.2015** **EP 2606562**

54 Título: **Máquina eléctrica superconductora con un dispositivo de unión para compensar la dilatación axial de un soporte de devanado**

30 Prioridad:

**28.09.2010 DE 102010041534**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**30.09.2015**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

**PÉREZ BARQUÍN, Eliana**

ES 2 546 987 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).

**MÁQUINA ELÉCTRICA SUPERCONDUCTORA CON UN DISPOSITIVO DE UNIÓN PARA  
COMPENSAR LA DILATACIÓN AXIAL DE UN SOPORTE DE DEVANADO**

**DESCRIPCIÓN**

- 5 La presente invención se refiere a una máquina eléctrica superconductora con un rotor apoyado tal que puede girar alrededor de un eje de rotación, que tiene una carcasa exterior del rotor, fijada a partes axiales del eje del rotor y que envuelve un soporte de devanado con al menos un devanado superconductor. El rotor presenta además medios para sujetar el soporte de devanado dentro de la
- 10 carcasa exterior del rotor, que incluyen en un lado de transmisión del par de giro un primer dispositivo de unión rígido entre el soporte del devanado y la carcasa exterior del rotor y en el lado opuesto un segundo dispositivo de unión para compensar variaciones axiales por dilatación del soporte de devanado. El segundo dispositivo de unión presenta al menos un elemento de unión que se extiende axialmente, que por un lado está unido rígidamente con el soporte de devanado y cuyo extremo opuesto libre se encuentra
- 15 radialmente en unión por arrastre de fuerza y pudiendo moverse axialmente con al menos un elemento de sujeción de centrado de la carcasa exterior del rotor. Además se prevén medios para refrigerar y aislar térmicamente el devanado superconductor. Una máquina eléctrica superconductora correspondiente se deduce del documento DE 100 63 724 A1.
- 20 Las máquinas eléctricas, en particular generadores o motores, están constituidas por lo general por un rotor con un devanado de campo giratorio y por un estator con un devanado de estator fijo. Mediante la utilización de conductores ultracongelados y en particular superconductores, puede entonces aumentarse la densidad de corriente y la potencia específica de la máquina, es decir, la potencia por kilogramo de peso propio y también incrementarse el rendimiento.
- 25 Los devanados ultracongelados de máquinas eléctricas deben por lo general aislarse térmicamente del entorno y mantenerse con un medio refrigerante a la temperatura baja exigida. Un aislamiento térmico efectivo sólo puede lograrse entonces cuando las piezas ultracongeladas de la máquina están lo más separadas posibles del espacio exterior caliente mediante un alto vacío con una presión residual de gas en general inferior a  $10^{-3}$  mbar y cuando las piezas de unión entre estas partes ultracongeladas y el
- 30 espacio exterior caliente transmiten el menor calor posible.
- Para un aislamiento al vacío de rotores con devanados del rotor a ultracongelar y devanados del estator calientes se conocen en particular dos variantes: En una primera forma de realización tiene el rotor una
- 35 carcasa exterior caliente y una cámara de vacío cerrada que gira a la vez. La cámara de vacío debe entonces envolver por todos lados la zona ultracongelada. No obstante a través de los apoyos que se extienden a través de la cámara de vacío tiene lugar una indeseada transmisión de calor a las partes ultracongeladas. En una segunda forma de realización gira el rotor esencialmente frío en un alto vacío. Entonces la delimitación exterior de la cámara de alto vacío viene fijada por el agujero interior del estator.
- 40 No obstante, una tal configuración exige juntas del eje estancas al alto vacío entre el rotor y el estator.
- En la primera forma de realización de citada, conocida por ejemplo por el documento DE 23 26 016 B2, se encuentra el devanado superconductor del rotor en el interior de un criostato del rotor, que con ejes de
- 45 brida montados forma una carcasa exterior del rotor. Debido a la utilización de material superconductor clásico para los conductores de devanado, se prevé una refrigeración por helio con una temperatura de servicio alrededor de 4K. Además de los materiales superconductores metálicos conocidos desde hace mucho tiempo, como por ejemplo NbTi o Nb<sub>3</sub>Sn, se conocen desde 1987 también materiales superconductores de óxidos metálicos con temperaturas de transición sobre 77K. Con conductores que
- 50 utilizan tales materiales superconductores High-T<sub>c</sub> (de alta temperatura crítica), denominados también materiales HTS, pueden fabricarse devanados de máquinas superconductores, que han de enfriarse con nitrógeno líquido hasta una temperatura de servicio inferior a unos 77 K. Por el contrario se encuentra el contorno exterior de la carcasa exterior del rotor aproximadamente a la temperatura ambiente y durante el funcionamiento también dado el caso por encima.
- 55 El par de giro útil de la máquina se genera en el devanado del rotor. Éste está situado en un soporte de devanado frío, que a su vez está suspendido o sujeto aislado en la carcasa exterior del rotor que funciona como criostato. Entonces debe ser esta suspensión y/o sujeción en el lado de accionamiento del rotor suficientemente estable para transmitir el par de giro desde el soporte de devanado frío hasta una parte del eje del lado de accionamiento. Un correspondiente dispositivo de unión rígido para transmitir el par de
- 60 giro debe por ello realizarse relativamente macizo y unirse en arrastre de fuerza con el soporte del devanado y la parte del eje del lado de accionamiento. A la vez se ocupa este dispositivo de unión del centrado en el lado de accionamiento del soporte de devanado frío. En el lado opuesto del rotor, que también se denomina lado de no-accionamiento o lado de operación, porque en el mismo están previstas conexiones importantes para el servicio de la máquina, como por ejemplo una entrada del refrigerante, prácticamente no se transmite ningún par de giro. Por ello han de cumplirse aquí esencialmente sólo las
- 65 funciones de un centrado y aislamiento térmico. No obstante, puesto que en una transición de la temperatura ambiente a la temperatura de servicio la longitud axial del soporte de devanado se reduce

respecto a la correspondiente dilatación de la carcasa exterior del rotor en al menos un milímetro, debe garantizar la suspensión del lado de operación adicionalmente la función de la correspondiente compensación de longitud. Por ello se prevén según el estado de la técnica entre la carcasa exterior del rotor y el soporte del devanado elementos de unión que discurren radialmente con forma de disco, que permiten el correspondiente combado en dirección axial para compensar la dilatación. Alternativamente pueden estar previstos en el interior de un criostato del rotor asientos deslizantes, que permiten y/o compensan una dilatación axial del soporte del devanado.

Un inconveniente de los asientos deslizantes en el interior de un criostato del rotor es que el asiento deslizante se encuentra en el vacío de aislamiento del rotor y con ello no puede lubricarse el asiento deslizante con lubricantes como aceites o grasas. Debido a por ejemplo micromovimientos en cada giro del rotor en la máquina, está sometido el asiento deslizante de la máquina en funcionamiento permanente a un fuerte desgaste. Cuando se pone en servicio la máquina, tampoco puede observarse el proceso de contracción del soporte del devanado cuando se enfría hasta una temperatura criogénica, al no ser transparente el criostato del rotor. Así se necesitan conocimientos exactos de los parámetros de los materiales y un diseño del asiento deslizante con suficiente juego adicional para garantizar una sujeción axial fiable del soporte del devanado incluso para temperaturas bajas criogénicas. Un diseño más grande del asiento deslizante y el correspondiente espacio necesario origina un mayor consumo de material, mayores costes, características peores de la máquina durante el servicio y una de mayores dimensiones. La ventaja de una estructura más compacta que en máquinas clásicas no superconductoras se reduce así.

Es objetivo de la presente invención indicar una máquina eléctrica superconductora con un dispositivo de unión adecuado que de manera relativamente sencilla, económica y compacta permita una compensación de la dilatación axial y que a la vez limite en particular las pérdidas de conducción del calor del devanado superconductor a través del dispositivo de unión. Además es objetivo de la presente invención indicar una máquina eléctrica superconductora con un dispositivo de unión que posibilite un control óptico indirecto u observación indirecta de la contracción del soporte del devanado cuando se enfría desde fuera del rotor.

El objetivo indicado se logra en cuanto a la máquina eléctrica superconductora con las características de la reivindicación 1.

Ventajosas realizaciones de la máquina eléctrica superconductora correspondiente a la invención se deducen de las reivindicaciones subordinadas dependientes asociadas. Aquí pueden combinarse las características de la reivindicación principal con las características de las reivindicaciones subordinadas y las características de las reivindicaciones subordinadas entre sí.

La máquina eléctrica superconductora correspondiente a la invención incluye un rotor apoyado tal que puede girar alrededor de un eje de rotación, que a) tiene una carcasa exterior del rotor que está fijada a partes axiales del eje del rotor y que envuelve un soporte de devanado con al menos un devanado superconductor y b) presenta medios para sujetar el soporte del devanado dentro de la carcasa exterior del rotor, que incluye en un lado de transmisión del par de giro un primer dispositivo de unión rígido entre el soporte de devanado y la carcasa exterior del rotor y en el lado opuesto un segundo dispositivo de unión que compensa variaciones por dilatación del soporte de devanado, que presenta al menos un elemento de unión que se extiende axialmente, que por un lado está unido rígidamente con el soporte de devanado y cuyo otro extremo libre opuesto se encuentra en unión axial móvil, en arrastre de fuerza radial con al menos un elemento de sujeción de centrado de la carcasa exterior del rotor, incluyendo el elemento de sujeción de la carcasa exterior del rotor al menos un pasador a través de la carcasa exterior del rotor a través del cual está conducido el extremo libre del elemento de unión del segundo dispositivo de unión. La máquina eléctrica superconductora correspondiente a la invención incluye además c) medios para la refrigeración y aislamiento térmico del devanado superconductor.

A través del extremo libre del elemento de unión que está conducido a través del pasador que atraviesa la carcasa exterior del rotor, puede examinarse u observarse desde el exterior indirectamente fuera de la carcasa exterior del rotor cuando se enfría el soporte del devanado su variación en el espacio o bien contracción. El segundo dispositivo de unión de la máquina eléctrica superconductora con los elementos de unión que están conducidos a través del pasador que atraviesa la carcasa exterior del rotor, posibilita una compensación axial de la dilatación cuando se enfría y contrae espacialmente el soporte del devanado y tiene un diseño relativamente sencillo y económico, haciendo posible una forma constructiva compacta de la máquina. Mediante la configuración quedan limitadas las pérdidas de transmisión de calor del devanado superconductor a través del dispositivo de unión.

El elemento de unión que se extiende axialmente puede incluir un tubo aislante configurado con forma de cilindro hueco, así como espigas de guía, estando fijadas mecánicamente en particular al menos tres espigas de guía por sus respectivos lados longitudinales directamente al tubo aislante y estando configurado el lado opuesto como extremo libre. Las espigas de guía están conducidas a través de los pasadores de la carcasa exterior del rotor. La utilización de espigas de guía proporciona una estructura

sencilla y económica y un reducido transporte de calor por la carcasa exterior del rotor hacia el soporte del devanado.

Las espigas de guía pueden extenderse axialmente y presentan un extremo libre que penetra deslizando sin juego en el respectivo pasador a través de la carcasa exterior del rotor. Esto proporciona una compensación de dilatación sin obstáculos cuando se enfría y contrae espacialmente el soporte de devanado. Bajo deslizamiento sin juego se entiende en este contexto que eventuales fuerzas de rozamiento prácticamente no obstaculizan un deslizamiento axial del extremo del elemento de unión en el pasador, pese a un eventual arrastre de fuerza radial entre estos componentes. En base a la longitud de las espigas de guía, que pueden sobresalir hacia fuera de los pasadores, puede observarse la magnitud de la contracción del soporte de devanado cuando se enfría y/o su dilatación cuando se calienta.

Las espigas de guía pueden estar dotadas en sus extremos libres de un anillo de soporte. Éste puede originar una fijación axial de las distancias de los extremos libres entre sí y evitar así un ladeo de las espigas de guía en los pasadores.

El elemento de sujeción de la carcasa exterior del rotor puede incluir al menos un cojinete para espigas de guía, en particular en cada caso un cojinete fijado en la zona de un pasador a través de la carcasa exterior del rotor en la cubierta exterior de la carcasa exterior del rotor, a través del cual se conduce el extremo libre de una espiga de guía. El mismo puede igualmente evitar un ladeo de las espigas de guía en los pasadores y hacer innecesario un engrase en los propios pasadores para un deslizamiento sin rozamiento o bien con poco rozamiento.

El cojinete puede presentar una barrera al vacío en la zona del pasador a través de la carcasa exterior del rotor. Ésta puede estar unida de manera estanca al vacío con la espiga de guía y cubrir de manera estanca al vacío el pasador a través de la carcasa del rotor. La barrera al vacío puede incluir una brida CF con membrana, dispuesta en particular entre el cojinete y la carcasa exterior del rotor. Mediante la barrera al vacío es posible mantener en el interior de la carcasa del rotor, a pesar de los pasadores, un vacío para el aislamiento térmico del interior frente al exterior de la carcasa del rotor. Una membrana puede realizarse entonces flexible respecto al movimiento de las espigas de guía y económicamente.

Las espigas de guía pueden estar configuradas en forma de barras o varillas. Al respecto son posibles en particular secciones de forma cilíndrica o paralelepédica. Las espigas de guía con forma de barra o de varilla son fáciles de fabricar y mecánicamente estables. Las mismas pueden estar fabricadas de acero, cobre, teflón o material de plástico reforzado con fibras, o bien incluir estos materiales.

Pueden estar previstos al menos tres pasadores que atraviesan por completo la carcasa exterior del rotor. Entonces pueden estar dispuestos los pasadores en particular sobre un perímetro circular con un centro, en el que está unido un eje de brida con la carcasa exterior del rotor en arrastre de fuerza. Es favorable una distribución uniforme de los pasadores por el perímetro del círculo, es decir, a igual distancia entre sí. Mediante la utilización de tres o más pasadores sobre un perímetro circular, estando asociada a cada pasador la correspondiente espiga de guía o bien estando dispuesta en el pasador, resulta una configuración estable. Incluso con grandes fuerzas centrífugas para elevadas velocidades de giro del rotor están en condiciones las espigas de guía, interaccionando con los pasadores y/o la carcasa del rotor, de mantener el rotor con su soporte de devanado con seguridad sobre un eje de giro. Los pasadores que atraviesan por completo la carcasa exterior del rotor permiten un examen o bien observación de las espigas de guía y con ello de la contracción o dilatación espacial del soporte de devanado también desde fuera de la carcasa del rotor, en particular durante un enfriamiento o un calentamiento hasta y desde una temperatura de servicio, respectivamente.

El elemento de unión puede incluir acero, cobre, teflón o material de plástico reforzado con fibras y/o estar compuesto por completo por los mismos. Los metales y el plástico reforzado con fibras son muy estables mecánicamente incluso a bajas temperaturas, son relativamente económicos y de forma estable a lo largo del tiempo. El teflón puede utilizarse por ejemplo como una capa lubricante. Alternativamente se puede lubricar también con grasas o aceites usuales, para que resulte un deslizamiento casi sin rozamiento de las espigas de guía en los pasadores.

Los conductores del devanado superconductor pueden incluir material superconductor de baja  $T_c$  metálico o material superconductor de alta  $T_c$  de óxido metálico. La elección depende de las exigencias a la máquina, de los costes de fabricación programados y del enfriamiento que se pretende por ejemplo con helio o nitrógeno.

Al menos entre la carcasa exterior del rotor y el soporte del devanado existe una cámara de vacío. Así se logra un buen aislamiento térmico y es posible un enfriamiento efectivo y/o un funcionamiento efectivo de la máquina sin grandes pérdidas de calor a través de la carcasa exterior del rotor. Cuando se utilizan espigas de guía de plástico reforzado con fibras, se reduce en comparación con las metálicas igualmente

a través de las espigas de guía una aportación de calor a los soportes de devanado desde fuera de la carcasa exterior del rotor.

La configuración antes descrita de la máquina eléctrica superconductora ofrece las ventajas de una posibilidad de fabricación sencilla, barata, de buen centrado y pudiendo lograrse a la vez reducidas fugas de calor. Al respecto se permite una compensación de la contracción (= movimiento axial) mediante un verdadero movimiento relativo de ambos componentes de suspensión y/o sujeción "elemento de unión y pasador a través de la carcasa exterior del rotor". No obstante se conserva el centrado y la rigidez del dispositivo de unión. Para ello no es necesario ningún emparejamiento de materiales especial para compensar la contracción.

A continuación en base a las figuras se describirán más en detalle formas de realización preferentes de la invención con perfeccionamientos ventajosos según las características de las reivindicaciones dependientes, pero sin estar limitados a ello. En las figuras se han dotado las partes que se corresponden de las mismas referencias.

Se representa en las figuras:

figura 1 una sección longitudinal esquemática de una máquina eléctrica superconductora 2 según el estado de la técnica y  
figura 2 un detalle de la máquina 2 mostrada en la figura 1 con un elemento de unión entre el soporte del devanado 9 y un elemento de sujeción de la carcasa exterior del rotor 7, situado por completo dentro de la carcasa exterior del rotor 7, según el estado de la técnica y  
figura 3 un detalle de una máquina 2 con elementos de unión entre soportes de devanado 9 y elementos de sujeción de la carcasa exterior del rotor 7 según la invención, con pasadores 22 a través de la carcasa exterior del rotor 7, a través de los cuales se han conducido los elementos de unión y  
figura 4 una vista ampliada de un pasador 22 con el correspondiente elemento de unión, así como una barrera de vacío 24 y un cojinete 23.

En la figura 1 se representa una máquina eléctrica superconductora 2 que por ejemplo se utiliza como generador o motor, como sección longitudinal esquemática correspondiente al estado de la técnica. La máquina eléctrica superconductora 2 incluye un devanado giratorio superconductor 10 con por ejemplo material LTS metálico (material superconductor de baja  $T_c$ ) o material HTS oxidico (material superconductor de alta  $T_c$ ). Este último material lo elegimos para los siguientes ejemplos de ejecución. El devanado puede estar compuesto por una bobina o un sistema de bobinas en una configuración bipolar, tetrapolar o en general multipolar.

La máquina eléctrica superconductora designada con 2 incluye una carcasa exterior de la máquina 3 fija que se encuentra a la temperatura ambiente con un devanado del estator 4. Dentro de esta carcasa exterior que puede evacuarse y rodeado por el devanado del estator 4 está apoyado un rotor 5 en cojinetes 6 tal que puede girar alrededor de un eje de rotación A, que en su llamado lado de accionamiento AS incluye una pieza axial maciza como eje del rotor 5a. El rotor presenta una carcasa exterior del rotor 7 configurada como recipiente de vacío, en la que está sujeto un soporte de devanado 9 con un devanado HTS 10. Para ello sirve en el lado de accionamiento AS un dispositivo de unión 8a rígido con forma tubular entre el soporte del devanado 9 y una pieza lateral 7a con forma de disco unida fijamente con la pieza de eje de rotor 5a. Mediante el primer dispositivo de unión 8a rígido se realiza también la transmisión del par de giro. Esencialmente está compuesto este dispositivo de unión ventajosamente por un cilindro hueco mal conductor del calor, en particular de un material de plástico reforzado por ejemplo con fibras de vidrio (el llamado material "GFK") o con otras fibras. Este material garantiza una rigidez mecánica suficientemente grande para transmitir el par de giro y un gran módulo de empuje (módulo G) a la vez con baja conductividad térmica. En el lado no de accionamiento y/o lado de servicio opuesto al lado de accionamiento AS y que a continuación se denominará BS, está dispuesto un segundo dispositivo de unión 8b entre el soporte del devanado 9 y una pieza lateral 7b de la carcasa exterior del rotor 7.

En la figura 1 se muestra además esquemáticamente en el lado BS opuesto al de accionamiento una pieza del eje 5b cilíndrica hueca, que en su lado orientado a la carcasa exterior del rotor 7 está unida rigidamente con su correspondiente pieza lateral 7b con forma de disco. Mediante esta pieza de eje apoyada en un cojinete 6 se realiza entre otros una aportación de medio refrigerante para refrigerar el devanado superconductor 10 desde fuera de la máquina. Los detalles de la aportación de medio refrigerante y de la impermeabilización se conocen por el estado de la técnica. Por lo tanto se ha renunciado en la figura a una representación detallada. El vacío que rodea el soporte de devanado 9 con el devanado superconductor 10 se designa con V. El vacío existe en particular entre la carcasa exterior del rotor 7 caliente y el soporte del devanado 9.

Para lograr un aislamiento térmico, procede como material para una suspensión centrada del soporte de devanado 9 también en el lado del rotor BS que prácticamente no transmite ningún par de giro, sobre todo

GFK en partes que discurren radialmente y/o en particular partes que discurren axialmente. Una forma de realización especial del correspondiente dispositivo de unión 8b se ve en la figura 2. Este dispositivo de unión presenta como elemento de unión 12 un tubo de GFK, que por un lado está por ejemplo pegado a una brida 13. Esta brida está unida con una parte fría del soporte de devanado 9 rígidamente y tal que se transmite el calor; por ejemplo está atornillada con la misma. Pero la brida puede ser también parte del propio soporte del devanado o bien estar unida con otras partes del soporte de devanado. El extremo libre opuesto 12a del tubo de GFK 12 está rodeado ventajosamente por un anillo de soporte 15 endurecido. Este anillo compuesto en particular por metal como acero endurecido puede deslizarse sin juego en la abertura 20 de un elemento de sujeción 18 que lo rodea. Bajo deslizamiento sin juego se entiende en este contexto que un deslizamiento axial el extremo 12a del elemento de unión 12 o bien de su anillo de soporte 15 en la correspondiente abertura 20 del elemento de sujeción 18 no se ve estorbado prácticamente por eventuales fuerzas de rozamiento. No obstante, a la vez debe conservarse un arrastre de fuerza radial entre el anillo de soporte y el elemento de sujeción. El elemento de sujeción 18 está compuesto por lo tanto convenientemente por el mismo material que el anillo de soporte. Este elemento de sujeción esencialmente con forma anular está alojado en una brida caliente 19 y unido con la misma o con parte de la misma. Esta brida 19 es parte de la pieza lateral 7b de la carcasa exterior del rotor 7 o de la pieza de eje 5b.

Para mejorar la capacidad de deslizamiento mutua entre el anillo de soporte 15 y el elemento de sujeción 18 en dirección axial, está dotada una de estas piezas, por ejemplo el elemento de sujeción 18, en el lado interior de la abertura 20 ventajosamente de salientes 17i dispuestos regularmente, que se extienden radialmente a modo de apéndice, en los que se apoya el anillo de soporte 15 en arrastre de forma y de fuerza. Con ello se reduce la superficie de contacto entre ambas piezas y por lo tanto la fuerza de rozamiento sobre la zona de los apéndices, sin que se haya eliminado el ajuste de sobremedidas (asiento a presión) necesario para el arrastre de fuerza radial.

Según un ejemplo de ejecución concreto correspondiente, el diámetro del tubo de GFK 12 es por ejemplo de 90 mm con un espesor de pared de 2 mm. La longitud libre del tubo es por ejemplo de unos 40 mm. La exactitud de la fabricación determina un giro redondo de las distintas partes entre sí. El ajuste del anillo de soporte 15 de acero endurecido con un diámetro exterior de 100 mm en los apéndices de guía 17i orientados radialmente hacia dentro del elemento de sujeción 18 de acero endurecido se realiza tal que por un lado no hay juego alguno, pero por otro lado puede garantizarse un deslizamiento axial del anillo en el zócalo del apéndice con las fuerzas que se presentan. Para ello está realizado el elemento de sujeción 18 esencialmente como cilindro hueco con un diámetro exterior de 133 mm y una extensión axial del 25,5 mm. Su espesor de pared es de 7,5 mm, a excepción de la zona de sus por ejemplo 6 apéndices de guía 17i. En la zona de los apéndices se reduce el diámetro interior del elemento de sujeción a unos 100 mm. Con ello resulta posible una compensación axial de longitudes al enfriar y al calentar el cuerpo de soporte 9. Además implica también esta configuración que hasta un cierto grado se compensan tolerancias de fabricación en dirección axial.

En el ejemplo de ejecución concreto, implica el dispositivo de unión 8b una fuga de calor de aprox. 2,5 W y cumple por ello suficientemente bien incluso la función de aislamiento térmico.

Debido a la configuración en vacío V, no es posible una lubricación del dispositivo de unión 8b con aceites o grasas o cremas lubricantes. Igualmente problemático es el diseño en cuanto a tamaño del dispositivo de unión 8b, ya que el mismo por un lado debe presentar juego suficiente para que pueda compensarse la variación total de longitud del soporte de devanado 9 en el enfriamiento o calentamiento. Por otro lado exige una estructura compacta con tan poco material a enfriar como sea posible un dispositivo de unión 8b lo más pequeño posible. Un diseño de la dimensión en cuanto a tamaño del dispositivo de unión 8b exige así conocimientos muy precisos del material y por lo general es difícil. No es posible la observación de la variación de longitud del soporte de devanado 9 desde fuera al enfriar o calentar, debido a la estructura cerrada de la carcasa exterior del rotor 7.

En la figura 3 se ha representado un dispositivo de unión 8b correspondiente a la invención que posibilita observar la variación de longitud del soporte de devanado 9 desde fuera de la carcasa del rotor 7 y también permite la lubricación del dispositivo de unión con aceites o grasas o cremas lubricantes.

La máquina eléctrica superconductora 2 correspondiente a la invención presenta todas las características de la máquina eléctrica superconductora 2, tal como se representa en las figuras 1 y 2, a excepción de la estructura del dispositivo de unión 8b que se describe a continuación. Análogamente al elemento de unión 12 mostrado en la figura 2, está unido mecánicamente el elemento de unión 12 de la máquina eléctrica superconductora 2 correspondiente a la invención, tal como se muestra en la figura 3, con el soporte de devanado 9. Un elemento de unión 12 con forma tubular puede estar fijado por ejemplo mediante una brida 13 al soporte del devanado 9. En el elemento de unión 12 con forma tubular están fijadas espigas de guía 21 en su extremo libre, opuesto al extremo del elemento de unión 12 unido mecánicamente con la brida 13. Alternativamente pueden estar fijadas las espigas de guía 21 también directamente de forma mecánica a la brida 13 o al soporte del devanado 9, lo cual no se ha representado en las figuras por

razones de simplicidad. Las espigas de guía 21 están dispuestas sobre una superficie envolvente cilíndrica imaginaria distribuidas regularmente entre sí, con su eje longitudinal paralelo a un eje longitudinal de la superficie de la envolvente cilíndrica imaginaria. La superficie de la envolvente cilíndrica imaginaria puede ser por ejemplo una prolongación del elemento de unión 12 con forma tubular. Pueden por ejemplo estar dispuestas 3 espigas de guía 21 decaladas entre sí en 120° en la dirección perimetral. Las espigas de guía 21 pueden estar configuradas por ejemplo con forma de barra o de varilla. Son ventajosas espigas de guía 21 con forma cilíndrica.

En el lado opuesto a aquél en el que están fijadas las espigas de guía 21 por ejemplo con el elemento de unión 12 con forma tubular, presentan las espigas de guía 21 un extremo libre. Con el extremo libre penetran las espigas de guía 21 en o a través de respectivos pasadores 22 desde dentro hacia fuera de la carcasa exterior del rotor 7, en particular a través de una parte de la carcasa exterior del rotor 7b. La parte de la carcasa exterior del rotor 7b está unida, tal como se ha descrito antes en las figuras 1 y 2, con la pieza del eje del rotor 5b con forma tubular, a través de la cual directa o indirectamente se realiza la unión con una entrada de medio refrigerante para enfriar el devanado superconductor 10 desde fuera de la máquina, lo cual no se ha representado por razones de simplicidad.

Los pasadores 22 presentan un diámetro ligeramente mayor que el diámetro exterior de las espigas de guía 21, por ejemplo con una diferencia de diámetros del orden de un milímetro y la misma forma de sección que las espigas de guía 21. Los pasadores 22 están distribuidos uniformemente entre sí en el ejemplo de realización descrito por ejemplo sobre una superficie envolvente cilíndrica imaginaria igual a la superficie de la envolvente cilíndrica imaginaria de las espigas de guía 21, con su eje longitudinal paralelo a un eje longitudinal de la superficie de la envolvente cilíndrica imaginaria. Entonces pueden estar dispuestos por ejemplo 3 pasadores 22 decalados entre sí en 120° en la dirección perimetral en la parte lateral de la carcasa 7b, siendo el eje longitudinal de la superficie de la envolvente cilíndrica imaginaria igual al eje de rotación A.

Al ser ligeramente mayor el diámetro de los pasadores 22 que el diámetro exterior de las espigas de guía 21, pueden deslizarse sin juego las espigas de guía 21 en los pasadores 22.

Tal como se representa en la figura 3 y en detalle ampliado en la figura 4, puede estar dispuesto un cojinete 23 en el lado exterior de la parte lateral de la carcasa 7b, en cada caso en un extremo libre de una espiga de guía 21 y/o correspondiéndose con la abertura exterior del correspondiente pasador 22. La espiga de guía de 21 penetra a través del pasador 22 y el cojinete 23 y puede verse claramente por un extremo libre desde fuera de la carcasa exterior del rotor 7. En el cojinete 23 y la parte lateral de la carcasa 7b, dispuesta envolviendo por completo la espiga de guía 21 a través del pasador 22, puede estar prevista en cada caso una barrera de vacío 24. La barrera de vacío 24 puede estar constituida por una brida CF con una membrana y originar junto con la respectiva espiga de guía 21 un cierre estanco al vacío. Debido a ello puede existir un vacío V en el interior de la carcasa exterior del rotor 7 y observarse en la zona exterior de la carcasa exterior del rotor 7, en la que no existe vacío V, una variación de posición del extremo libre, bien visible, de la espiga de guía 21. Entonces varía la posición de los extremos libres de las espigas de guía 21 en función de la contracción o dilatación del soporte de devanado 9 en el interior de la carcasa exterior del rotor 7 cuando se enfría hasta una temperatura de servicio y/o se calienta desde una temperatura de servicio de la máquina eléctrica superconductora 2.

El cojinete puede estar lubricado con aceites o con grasas o cremas lubricantes, sin que empeore y/o se vea influido el vacío V en el interior de la carcasa exterior del rotor 7. La barrera de vacío 24 se ocupa de que no llegue en absoluto aceite o grasa o crema lubricante al interior de la carcasa exterior del rotor 7. El aceite o grasa o crema lubricante posibilita un deslizamiento casi sin rozamiento y/o juego de las espigas de guía 21 en los cojinetes 23. Cuando es algo inferior el diámetro del pasador en el cojinete 23 comparado con el pasador 22 a través de la carcasa exterior del rotor 7, con ambos pasadores dispuestos sobre un eje central común con el eje longitudinal de la espiga de guía 21, no tiene ningún contacto mecánico directo la espiga de guía 21 con la parte lateral de la carcasa 7b. Las espigas de guía 21 se encuentran, cuando deslizan sin juego, sólo en contacto mecánico directo con el cojinete 23 lubricado, en el lado del extremo libre de las espigas de guía 21. De esta manera se evita un desgaste mecánico de las espigas de guía 21 y del cojinete 23 cuando es frecuente el movimiento de las espigas de guía 21 respecto a los pasadores 22.

Alternativamente al ejemplo de realización antes descrito son posibles también cualesquiera otras formas de realización, en particular en combinación con los ejemplos descritos en base a las figuras 1 y 2. Así pueden presentar por ejemplo la espiga de guía 21 y con ello inversamente los pasadores 22 formas de varillas o barras rectangulares, en vez de la forma cilíndrica. Las espigas de guía 21, pueden también estar realizadas en varias piezas. Puede ahorrarse un elemento de unión 12 con forma tubular cuando se fija la espiga de guía 21 directamente a un soporte de devanado 9 o mediante brida 19 a un soporte de devanado 9. Alternativamente a la lubricación con aceites o grasas o cremas lubricantes, puede utilizarse un recubrimiento de teflón. Materiales como acero, cobre o material de plástico reforzado con fibras pueden utilizarse para piezas como por ejemplo espigas de guía 21, cojinete 23 y/o elemento de

## ES 2 546 987 T3

unión 12 con forma tubular. Pero también puede pensarse en otras formas de realización no representadas en las figuras y materiales no mencionados en la descripción.

## REIVINDICACIONES

1. Máquina eléctrica superconductora (2) con un rotor (5) apoyado tal que puede girar alrededor de un eje de rotación (A), que
  - a) tiene una carcasa exterior del rotor (7), fijada a partes axiales del eje del rotor (5a, 5b) y que envuelve un soporte de devanado (9) con al menos un devanado superconductor (10) y
  - b) medios para sujetar el soporte de devanado (9) dentro de la carcasa exterior del rotor (7),
    - que incluyen en un lado de transmisión del par de giro (AS) un primer dispositivo de unión (8a) rígido entre el soporte del devanado (9) y la carcasa exterior del rotor (7) y
    - en el lado opuesto (BS) un segundo dispositivo de unión (8b) para compensar variaciones axiales por dilatación del soporte de devanado (9), que presenta al menos un elemento de unión (12, 21) que se extiende axialmente, que por un lado está unido rigidamente con el soporte de devanado (9) y cuyo extremo opuesto libre se encuentra radialmente en unión por arrastre de fuerza y pudiendo moverse axialmente con al menos un elemento de sujeción de centrado de la carcasa exterior del rotor (7)
  - c) así como
  - c) dotada de medios para refrigerar y aislar térmicamente el devanado superconductor (10), **caracterizada porque** el elemento de sujeción de la carcasa exterior del rotor (7) incluye al menos un pasador (22) a través de la carcasa exterior del rotor (7) a través del cual está conducido el extremo libre del elemento de unión del segundo dispositivo de unión (8b).
2. Máquina eléctrica superconductora (2) según la reivindicación 1, **caracterizada porque** el elemento de unión que se extiende axialmente incluye un tubo aislante (12) configurado con forma de cilindro hueco, así como espigas de guía (21), estando fijadas mecánicamente en particular al menos tres espigas de guía (21) por sus respectivos lados longitudinales directamente al tubo aislante (12) y estando configurado el lado opuesto como extremo libre.
3. Máquina eléctrica superconductora (2) según la reivindicación 2, **caracterizada porque** las espigas de guía (21) se extienden axialmente y presentan un extremo libre, que penetra deslizando sin juego en respectivos pasadores (22) a través de la carcasa exterior del rotor (7).
4. Máquina eléctrica superconductora (2) según la reivindicación 3, **caracterizada porque** las espigas de guía (21) están dotadas en sus extremos libres de un anillo de soporte (15).
5. Máquina eléctrica superconductora (2) según una de las reivindicaciones 2 a 4, **caracterizada porque** el elemento de sujeción de la carcasa exterior del rotor (7) incluye al menos un cojinete (23) para espigas de guía (21), en particular en cada caso un cojinete (23) fijado en la zona de un pasador (22) a través de la carcasa exterior del rotor (7) en la cubierta exterior de la carcasa exterior del rotor (7), a través del cual se conduce el extremo libre de una espiga de guía (21).
6. Máquina eléctrica superconductora (2) según la reivindicación 5, **caracterizada porque** el cojinete (23) presenta una barrera de vacío (24) en la zona del pasador (22) a través de la carcasa exterior del rotor (7), en particular una barrera de vacío (24) unida de manera estanca al vacío con la espiga de guía (21) y que cubre el pasador (22) a través de la carcasa exterior del rotor (7) de manera estanca al vacío.
7. Máquina eléctrica superconductora (2) según la reivindicación 6, **caracterizada porque** la barrera al vacío (24) incluye una brida CF con membrana, dispuesta en particular entre el cojinete (23) y la carcasa exterior del rotor (7).
8. Máquina eléctrica superconductora (2) según una de las reivindicaciones 2 a 7, **caracterizada porque** las espigas de guía (21) están configuradas en forma de barras o varillas, en particular con forma cilíndrica o paralelepípedica.
9. Máquina eléctrica superconductora (2) según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** están previstos al menos tres pasadores (22) que atraviesan por completo la carcasa exterior del rotor (7), estando dispuestos los pasadores (22) en particular sobre un perímetro circular con un centro, en el que está unido un eje de brida (5b) con la carcasa exterior del rotor (7) en arrastre de fuerza.
10. Máquina eléctrica superconductora (2) según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** el elemento de unión incluye acero, cobre, teflón o material de plástico reforzado con fibras y/o está compuesto por completo por los mismos.

11. Máquina eléctrica superconductora (2) según una de las reivindicaciones precedentes,  
**caracterizada porque** los conductores del devanado superconductor (10) incluyen material superconductor de baja  $T_c$  metálico o material superconductor de alta  $T_c$  de óxido metálico.
- 5 12. Máquina eléctrica superconductora (2) según una de las reivindicaciones precedentes,  
**caracterizada porque** al menos entre la carcasa exterior del rotor (7) y el soporte del devanado (9) existe una cámara de vacío (V).

FIG 1

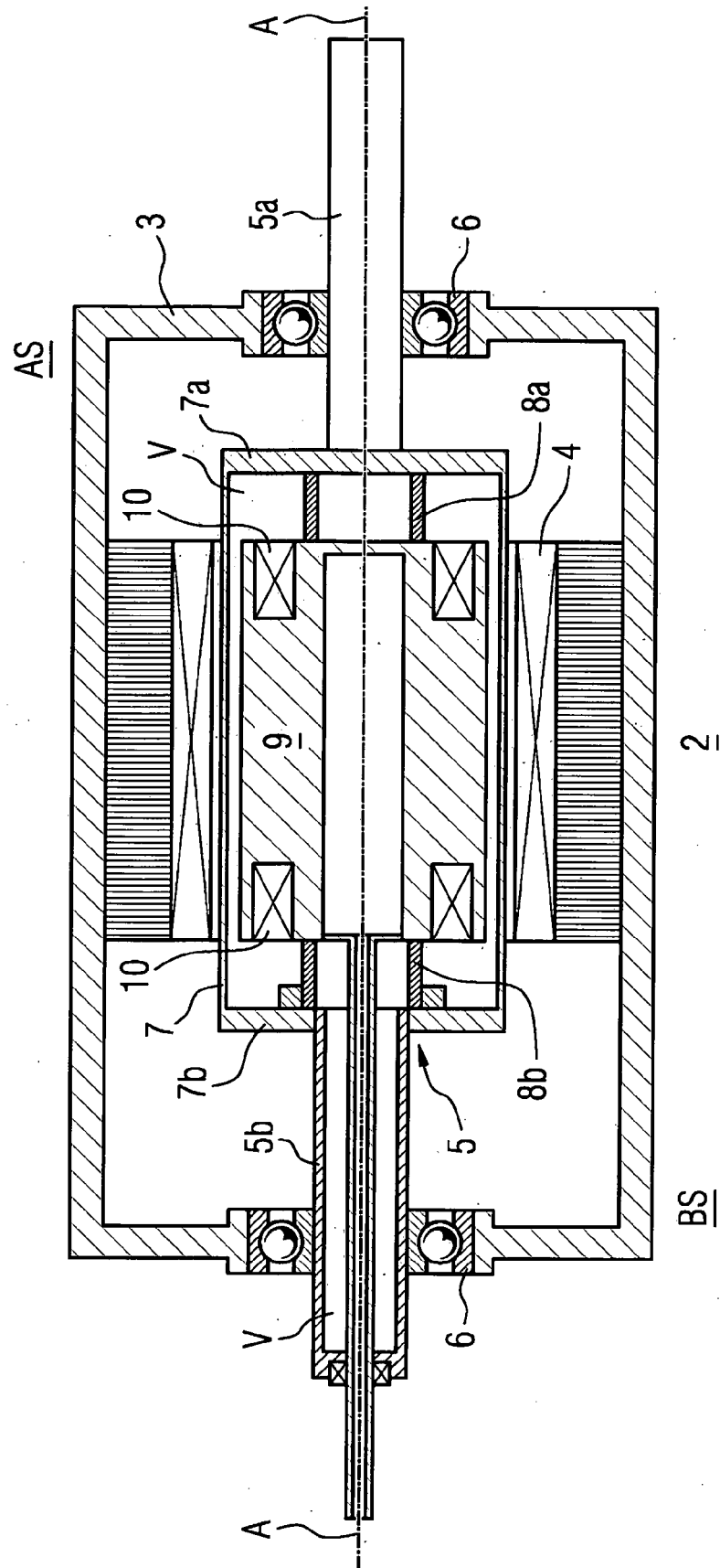


FIG 2

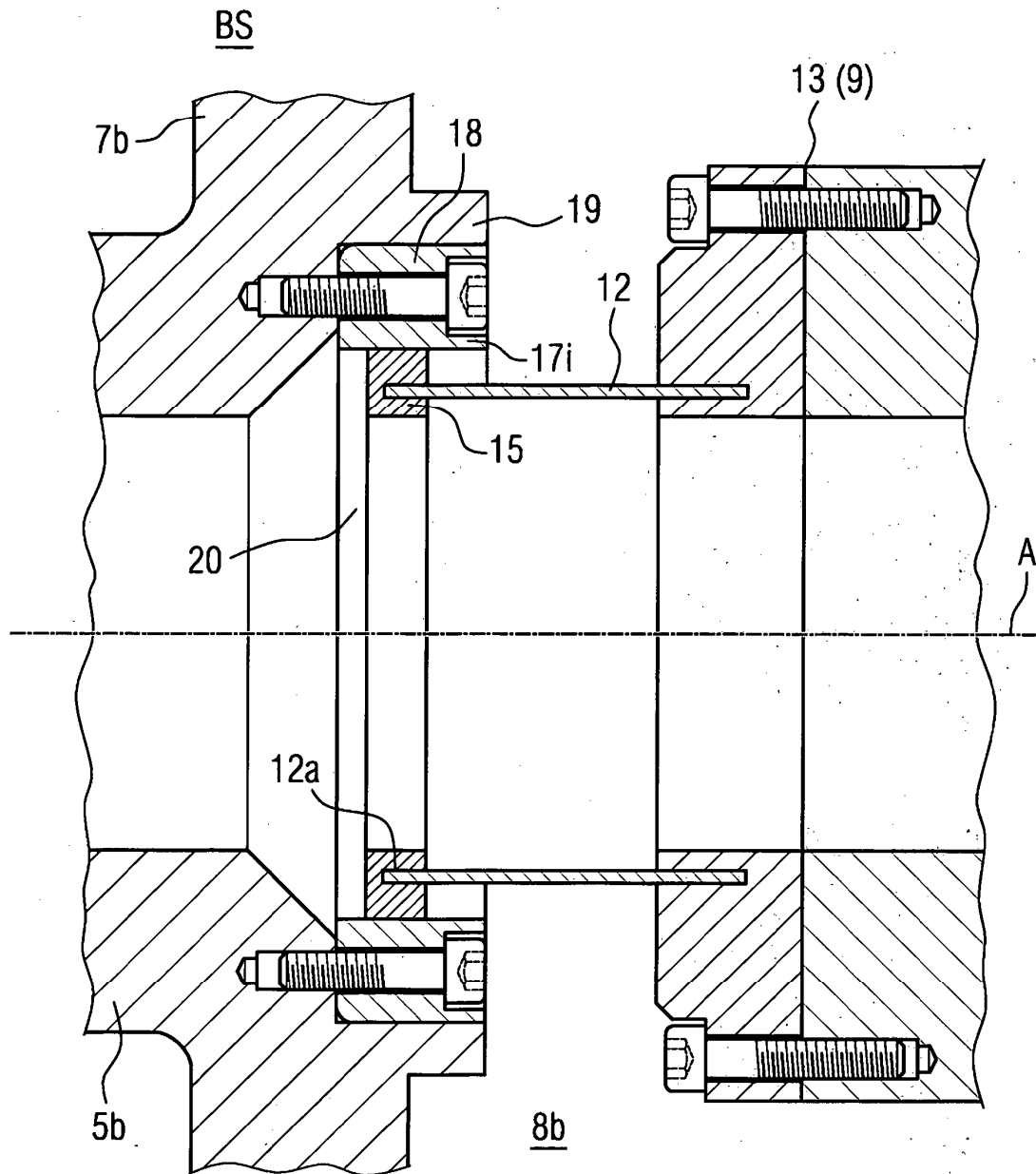


FIG 3

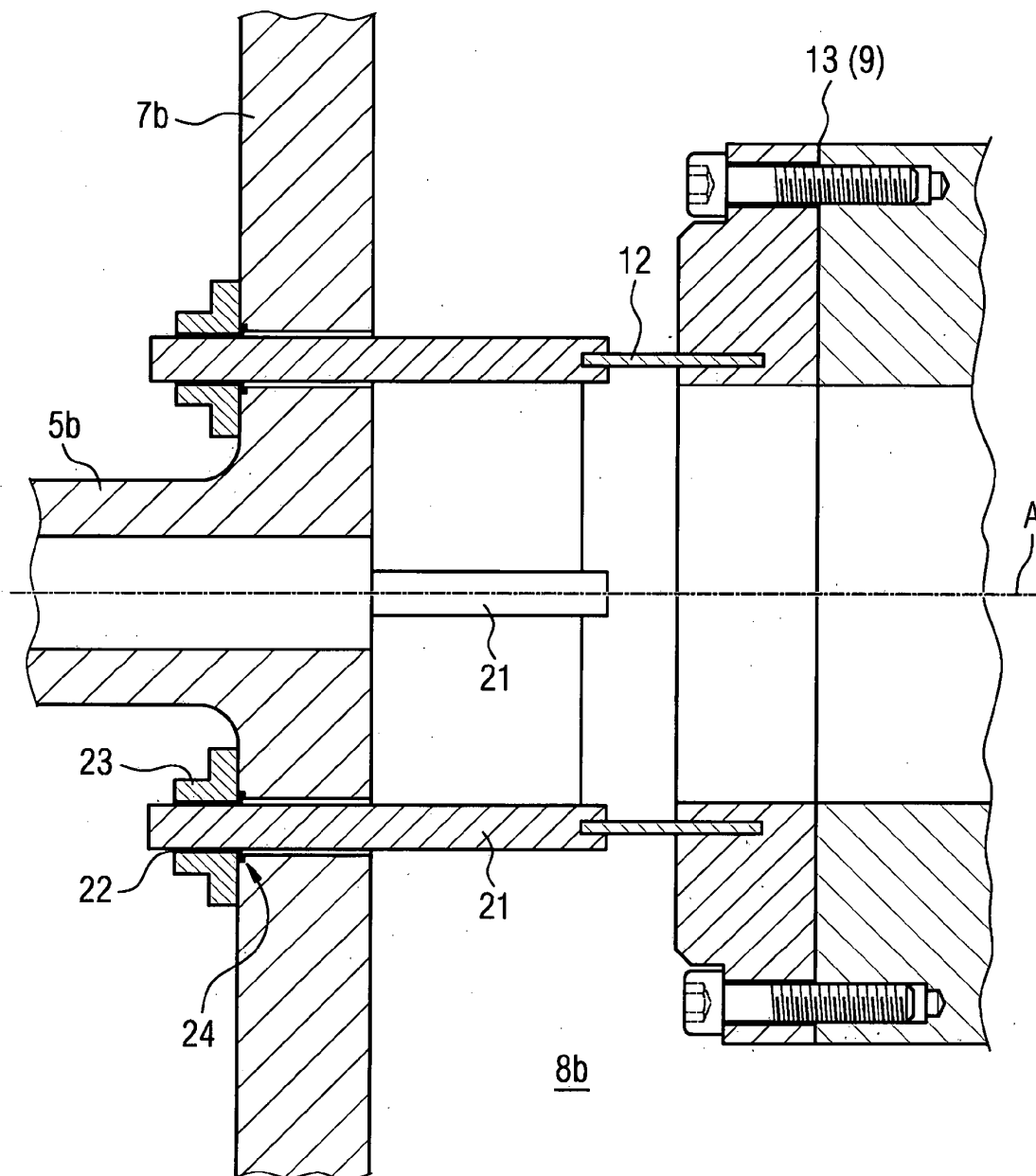


FIG 4

