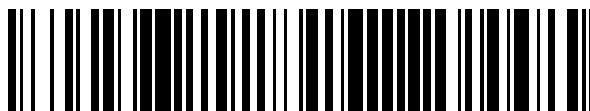


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 409 157**

51 Int. Cl.:

B63H 21/17 (2006.01)

H02K 55/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.05.2004** **E 04732316 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2013** **EP 1625071**

54 Título: **Sistema de propulsión de buque con dispositivos de refrigeración para el estator y el rotor de su motor sincrónico**

30 Prioridad:

16.05.2003 DE 10322275

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

25.06.2013

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
WITTELSBACHERPLATZ 2
80333 MÜNCHEN, DE**

72 Inventor/es:

**HUBER, NORBERT;
RIEGER, JÜRGEN;
SCHMIDT, WOLFGANG;
WACKER, BERND;
FRAUENHOFER, JOACHIM y
RZADKI, WOLFGANG**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 409 157 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

Sistema de propulsión de buque con dispositivos de refrigeración para el estator y el rotor de su motor sincrónico

La presente invención hace referencia a un sistema de propulsión de buque con un motor sincrónico, que comprende:

- 5 a) un rotor con un devanado de rotor a refrigerar a baja temperatura, particularmente multipolar y superconductor, que se encuentra acoplado de manera térmica directa o indirectamente a un dispositivo de refrigeración del rotor, así como
- b) un estator que rodea el rotor, que presenta:
 - un devanado del estator a refrigerar, que presenta una conductividad normal,
 - 10 • una estructura de soporte que aloja, al menos, parcialmente el devanado del estator, que presenta un cuerpo exterior esencialmente con forma de cilindro hueco, conformado por material magnético blando,
 - una carcasa exterior con una pieza de carcasa con forma de cilindro hueco, que encierra el cuerpo exterior, y
 - un dispositivo de refrigeración del estator para la evacuación del calor generado por el devanado del estator hacia el agua como un medio refrigerante,
 - 15 en donde se realiza un enfriamiento de la pieza de carcasa, al menos, en zonas parciales mediante un intercambio térmico con el medio refrigerante en o sobre la pieza de carcasa.

Un sistema de propulsión de buque correspondiente con un motor sincrónico se conoce de la patente WO 03/019759 A2.

- 20 El motor sincrónico del sistema de propulsión de buque conocido, comprende un rotor con un devanado del rotor multipolar, conformado por conductores compuestos de un material superconductor de alta temperatura crítica. Además, el devanado se encuentra en un criostato aislado mediante vacío, que aloja un medio refrigerante criogénico, en donde se debe mantener a una temperatura de funcionamiento de entre 15K y 77K. El devanado del estator de un motor sincrónico puede estar conformado de acuerdo con la patente US20010035692A1, como el así denominado devanado con lámina de entrehierro entre los dientes de soporte no magnéticos. Para garantizar una refrigeración efectiva de las partes del devanado, de acuerdo con la patente EP1251624A2, se pueden proporcionar conductos de refrigeración que se extienden de manera radial, axial y/o en el sentido circunferencial, en los cuales circula agua refrigerante como medio refrigerante. Para una refrigeración efectiva suficiente del devanado del estator del motor conocido, se requiere de una extensión comparativamente extensa de los dientes de soporte en el sentido radial, para el alojamiento de dichos conductos o bien, para la disposición de una sección transversal para el medio refrigerante que sea lo suficientemente extensa.
- 30

- 35 Sin embargo, en el caso de algunas clases de motores dicha extensión radial se encuentra limitada. En el caso de las clases de motores correspondientes con diámetros exteriores comparativamente reducidos, de ningún modo se puede realizar una evacuación efectiva del calor generado por el devanado del estator, hacia un medio refrigerante líquido mediante un dispositivo de refrigeración del estator de esta clase. Las clases de motores correspondientes se reivindican particularmente para propulsores de hélice y a chorro, en equipos flotantes, como por ejemplo, embarcaciones.

- 40 En la patente US6485339 se revela un motor de accionamiento para un sistema de propulsión de buque, que presenta un dispositivo de refrigeración para el motor de accionamiento. Se describen cuerpos refrigerantes que conducen el calor generado hacia el agua circundante. Además, la carcasa del motor se fabrica particularmente con un material conductor térmico. En este caso, la refrigeración del devanado del estator se realiza mediante la evacuación del calor a través de cabezas de devanado hacia la pieza de carcasa que rodea.

- 45 Las propiedades óptimas para el mar de un buque de superficie marino, se caracterizan por una velocidad elevada y una maniobrabilidad óptima. Se requiere una velocidad de crucero permanente elevada para lograr una movilidad considerable en espacios marítimos extensos. Las velocidades máximas elevadas y la movilidad se recomiendan, en algunos casos, sólo por un periodo de tiempo reducido. La velocidad de crucero permanente se encuentra en el rango de los 20 nudos, y la velocidad máxima asciende a 30 nudos.

Una propiedad importante consiste en la permanencia en el mar que depende tanto de la reserva de combustible, así como del agua y de los víveres, así como de la fiabilidad operacional de las instalaciones, y de la capacidad

operativa de la tripulación. Actualmente, la velocidad permanente elevada ante un oleaje determinado, combinada con comportamientos óptimos en el mar, se ha convertido en un requerimiento importante para atravesar espacios marítimos extensos. Las embarcaciones se deben poder utilizar en todo el mundo.

- 5 Los sistemas y componentes de las redes de navegación y de a bordo, deben presentar una disponibilidad funcional elevada con el fin de mejorar las propiedades en el mar. Se debe realizar de manera que, en el caso de un daño provocado siempre por esta clase de circunstancias, se detecte el daño de los componentes y de su conexión en red mediante sistemas de sensores correspondientes, y se separen los sistemas dañados de la red de navegación y de a bordo, de manera que la red intacta pueda continuar operando en lo posible sin interrupción alguna.

A continuación, se explican algunos puntos de vista a considerar para el diseño del propulsor de un buque:

10 I. Sistema de propulsión de hélice

En la actualidad, los buques de superficie se accionan generalmente con hélices de tornillo. En el interior del buque se encuentran dispuestos motores diesel o turbinas de gas que transmiten su energía mecánica a la hélice a través de las instalaciones de ejes/engranajes. Para los propulsores marinos se establecen exigencias particularmente estrictas a partir de las experiencias en el funcionamiento de hasta el momento, que consisten en:

- 15
- una disposición para el arranque rápido,
 - potencias máximas elevadas por un tiempo reducido en el caso de sobrecarga,
 - peso reducido,
 - opciones de mantenimiento óptimas, así como accesos para el montaje y desmontaje,
 - consumo reducido de combustible,
- 20
- fiabilidad operacional elevada.

De esta manera, se ha comprobado que el motor diesel es un propulsor ideal para buques marinos de tamaño reducido, debido a su disposición relativamente rápida para el funcionamiento, a su modo constructivo y funcional que economiza espacio y personal, y debido al consumo de combustible específico y reducido.

II. Sistema de propulsión a chorro de agua

- 25 Los sistemas de accionamiento correspondientes se proporcionan particularmente para buques marítimos rápidos. Dichos sistemas comprenden una propulsión mediante, al menos, un chorro de agua, el denominado "Waterjet", que se genera en un grupo de bomba con toberas de salida. Además, se puede proporcionar una rueda de álabes en el extremo de un eje de la bomba, que se encuentra conectado con un motor, como por ejemplo, un motor eléctrico que presenta, por ejemplo, superconductores de alta temperatura crítica, o con un motor diesel o una turbina de gas
- 30 (comp. por ejemplo, también con la patente WO 03/101820 A1).

III. Buque completamente eléctrico (VES)

La red eléctrica de a bordo de los buques actuales, está conformada por los siguientes componentes y sistemas:

- sistema de producción de energía eléctrica,
 - sistema de distribución de energía eléctrica, y
- 35
- dispositivo consumidor de energía eléctrica.

Desde hace algunos años se investiga la viabilidad de los buques marinos de superficie completamente eléctricos. El buque completamente eléctrico (VES) comprende la utilización de generadores de energía eléctrica económicos, para el sistema de propulsión del buque mediante motores eléctricos (red de navegación) y para la alimentación de la red de a bordo.

- 40 Desde hace algunos años se encuentran funcionando pequeños prototipos, y otros se encuentran actualmente en construcción. Las redes eléctricas de navegación y de a bordo se realizan generalmente con baja tensión.

Como sistema generador de energía eléctrica se consideran las siguientes futuras tecnologías:

- tecnología de pilas de combustible
- segmentos de generador con turbina de gas
- segmentos de generador con motor diesel

5 La potencia necesaria de los grupos generadores de energía eléctrica, en los buques futuros se encuentra en el rango de 20 - 50 MW según las exigencias de la red de a bordo y de la velocidad del buque. Ante dichas potencias, resulta importante una distribución de la energía eléctrica sólo con el sistema de tensión media. Sin embargo, en este caso también se consideran las redes de distribución de CC, dado que la tecnología de las pilas de combustible del hogar suministra una tensión continua.

10 Las tensiones aplicadas para la red de a bordo para buques marinos de superficie futuros, se encuentran en el rango de la baja tensión y de la tensión media. La frecuencia de la red de a bordo asciende a 60 Hz (en parte a 50 Hz).

En particular, en el desarrollo de buques completamente eléctricos, también se ha pensado en los propulsores que presentan su, al menos un, motor de accionamiento eléctrico montado en forma de góndola en el lado inferior del casco del buque. Esta clase de propulsores se indican también como "propulsores POD". En general se conocen los propulsores correspondientes, en particular con motores sincrónicos que utilizan superconductores de alta temperatura crítica (comp. por ejemplo, WO 03/019759 A2, EP 0 907 556 B1, WO 03/047962 A2).

El objeto principal de la conformación de dichos propulsores POD, consiste en primer lugar en la reducción del peso.

Además, otro objeto consiste en alcanzar un rendimiento de hélice hidrodinámico $> 60\%$. La relación entre el diámetro de góndola y el diámetro de hélice es un criterio importante para el propulsor POD, y de manera óptima debe ascender a 0,3...0,33 (relaciones inferiores a 0,3 sólo generan ventajas hidrodinámicas reducidas ante un trabajo excepcionalmente elevado para el propulsor POD).

Además, la longitud de la góndola debe ser relativamente reducida.

Los motores conocidos de imán permanente, los motores asincrónicos y sincrónicos convencionales no cumplen con las exigencias en relación con dichos requisitos de la relación entre dimensiones y del peso.

25 El objeto de la presente invención consiste en proporcionar un sistema de propulsión de buque utilizando un motor sincrónico con las características mencionadas en la introducción, en el que se permite una refrigeración segura del devanado del rotor y particularmente del devanado del estator mediante costes reducidos, particularmente también en el caso de una extensión radial reducida del devanado, como se requiere para los motores de buques.

30 Dicho objeto se resuelve con las medidas indicadas en la reivindicación 1. En correspondencia, en el caso del motor sincrónico del propulsor de buque, se proporciona un sistema de refrigeración para su pieza de carcasa, al menos, en zonas parciales, con las características mencionadas en la introducción, y se realiza un acoplamiento térmico del devanado del estator con el medio refrigerante (agua) a través de la estructura de soporte y de la pieza de carcasa.

Por lo tanto, los dientes de soporte deben estar compuestos forzosamente, al menos, de manera parcial por un material que presente una conductividad térmica suficiente para dicha función.

35 Con respecto a las medidas conformes a la presente invención, se considera que el devanado del estator del motor sincrónico se puede enfriar de manera ventajosa, prácticamente de manera completa, mediante la conducción térmica hacia sus dientes de soporte. La evacuación del calor se realiza desde el devanado del estator que presenta generalmente conductores de cobre, a través de su aislación indispensable y los dientes de soporte que presentan una conductividad térmica suficiente para dicha función, entregando el calor al cuerpo exterior envolvente. Debido a una conducción necesaria del flujo magnético, dicho cuerpo exterior envolvente está compuesto por un material magnético blando, particularmente hierro, que debe presentar una sección transversal relativamente extensa para lograr una conducción suficiente del flujo magnético y, por lo tanto, es capaz de recibir y entregar calor suficiente. La entrega de calor se realiza desde dicho punto, al menos, a través de la pieza de carcasa envolvente, y eventualmente a través de otras partes de la carcasa exterior hacia un medio refrigerante que humedece desde el exterior, preferentemente de manera directa o indirecta al medio refrigerante agua, como por ejemplo, agua de mar o agua dulce.

Resulta particularmente ventajoso también que desde las cabezas de devanado del devanado del estator, que generalmente no se pueden diseñar en la estructura de soporte debido a su geometría tridimensional muy compleja,

la evacuación térmica se realiza mediante la conducción térmica a través del conductor de cobre del devanado del estator, hacia la parte activa recta del devanado (en la zona del cuerpo exterior magnético blando y envolvente). Desde dicho punto, mediante los dientes de soporte conductores térmicos, dicho calor, así como el calor que proviene de la parte activa recta, se evacua hacia el cuerpo exterior magnético blando, que es enfriado por el medio refrigerante a través de la pieza de carcasa. De esta manera, el transporte térmico hacia el medio refrigerante se realiza esencialmente sólo a través de los dientes de soporte y del cuerpo exterior, que en conjunto conforman la estructura de soporte, así como, al menos, a través de la pieza de carcasa de la carcasa exterior.

En comparación, en el caso de los motores conocidos, la sección transversal de los dientes de soporte de su estructura de soporte que presentan una conductividad térmica comparativamente insuficiente, no resulta suficiente para garantizar un enfriamiento equivalente.

Resulta ventajosa también la posibilidad de renunciar a grupos auxiliares, como por ejemplo, un sistema de refrigeración obligatorio del devanado del estator en la zona de los dientes de soporte

Dado que en el caso del devanado del estator del motor sincrónico se trata preferentemente de un devanado multipolar de la clase que presenta una lámina de entrehierro, que en general requiere de una inducción elevada del devanado del rotor, este último devanado se enfría de manera ventajosa a una baja temperatura, en donde dicho devanado se encuentra acoplado directa o indirectamente con un dispositivo de refrigeración del rotor apropiado para ello o bien, con su medio refrigerante. Preferentemente, el devanado del rotor se puede fabricar con superconductores, particularmente con aquellos que comprenden un material superconductor de alta temperatura crítica.

Los acondicionamientos preferidos del sistema de propulsión de buque conforme a la presente invención con, al menos, un motor sincrónico, se deducen de las reivindicaciones relacionadas.

De esta manera, el estator puede presentar una extensión axial de la parte activa de su devanado, que asciende, al menos, al doble de su diámetro exterior, preferentemente, al menos, al cuádruple, y particularmente, al menos, al séxtuple de dicho diámetro. Esto significa que el devanado del estator sólo presenta una extensión radial reducida. Los tipos de motores correspondientes se consideran preferentemente para aplicaciones en buques (por ejemplo, de chorro de agua, de hélice/POD). Debido a la extensión radial reducida del devanado del estator de esta clase de motores, sólo se puede realizar indirectamente un enfriamiento efectivo como se realiza de acuerdo con la presente invención.

Para la refrigeración de la carcasa exterior o bien, de su pieza de carcasa del motor sincrónico, se consideran prácticamente todas las clases de refrigeración conocidas que utilizan agentes refrigerantes fluidos o mezclas de agentes refrigerantes. De esta manera, se puede prever una refrigeración mediante un baño de refrigeración. En lugar de ello, también se puede generar una circulación forzada del medio refrigerante, en este caso agua, o de otro medio refrigerante o uno adicional acoplado de manera térmica con el medio refrigerante agua, al menos, sobre o en la pieza de carcasa. Además, el medio refrigerante utilizado puede circular en conductos de refrigeración discretos, por ejemplo, en serpentines de refrigeración montados en el lado exterior de la carcasa.

Además, de manera ventajosa, se puede encontrar conectado con la pieza de carcasa, otro medio refrigerante que se encuentra en un sistema de refrigeración propio, que se encuentra acoplado de manera térmica con el medio refrigerante agua. Además, para el medio refrigerante agua se puede proporcionar un circuito de refrigeración adicional. Entre el medio refrigerante agua y el medio refrigerante adicional del motor, se realiza un intercambio térmico de una manera conocida. Las técnicas de refrigeración correspondientes resultan particularmente ventajosas para las aplicaciones en buque.

Además, se considera ventajoso cuando el dispositivo de refrigeración del rotor se acopla de manera térmica al medio refrigerante agua del dispositivo de refrigeración del estator. En este aspecto, se puede proporcionar particularmente:

- un primer circuito de refrigeración del dispositivo de refrigeración del estator,
- un segundo circuito de refrigeración del dispositivo de refrigeración del rotor, y
- un tercer circuito de refrigeración con el medio refrigerante agua, que se encuentra acoplado de manera térmica directa o indirectamente con el primer y el segundo circuito de refrigeración.

De esta manera, se garantiza un aprovechamiento efectivo del agua existente, es decir, del agua dulce o agua de uso industrial del buque, o del agua de mar circundante.

Conforme a la presente invención, para la estructura de soporte del motor sincrónico del sistema de propulsión del buque, no se utilizan dientes del estator compuestos por hierro como en los motores conocidos, sino que se utilizan con un material que presenta una conductividad térmica elevada (conductividad térmica λ). La conductividad térmica del hierro resulta limitada, y se encuentra en el rango de entre 40 y 60 W/(K·m) en relación con una adición por aleación eventual de otros materiales.

Mediante la supresión de los dientes de soportes de hierro ferromagnético, el devanado del estator se presenta prácticamente como un devanado con lámina de entrehierro, en donde el calor perdido del devanado con lámina de entrehierro se evacua a través de la estructura de soporte para dicho devanado. Además, no reviste importancia si se realizan uno o una pluralidad de sistemas de estator, por ejemplo, eléctricamente alternados, a modo de devanado con lámina de entrehierro.

Otros acondicionamientos ventajosos del motor sincrónico conforme a la presente intención, se deducen de las reivindicaciones relacionadas no mencionadas anteriormente.

Para una explicación adicional de la presente invención, a continuación se hace referencia a los dibujos, en los que se indican los ejemplos de ejecución preferidos de los motores sincrónicos conformes a la presente invención. Muestran respectivamente en una forma esquemática simple:

Figura 1 un corte longitudinal a través de un propulsor de hélice POD de un buque, con un motor de esta clase,

Figura 2 un corte transversal a través del motor de acuerdo con la figura 1,

Figura 3 en un recorte aumentado de la figura 2, una ranura del estator del motor, así como

Figura 4 un corte transversal a través de un motor de chorro de agua de un buque.

Además, en las figuras, las piezas que se corresponden entre sí están provistas respectivamente de los mismos símbolos de referencia.

Para el sistema de propulsión de buque conforme a la presente invención con, al menos, un motor sincrónico, se parte de la base de los propulsores de por sí conocidos. Además, se puede tratar particularmente de un propulsor del tipo de hélice/POD o también de un propulsor de chorro de agua. Para el siguiente ejemplo de ejecución, se considera un propulsor del tipo de hélice/POD. Su motor sincrónico presenta un rotor con un devanado de rotor a refrigerar a baja temperatura, particularmente multipolar y superconductor, que se encuentra acoplado de manera térmica, por ejemplo, directamente a un dispositivo de refrigeración del rotor. Además, por un acoplamiento directo se entiende una refrigeración mediante un medio refrigerante, que se encuentra en contacto térmico directo con las partes del devanado del rotor a enfriar. Sin embargo, también se puede realizar un enfriamiento indirecto, en donde entre las partes del devanado del rotor a enfriar y un dispositivo de refrigeración del rotor o un medio refrigerante, existe una conexión que conduce térmicamente a través de las piezas fijas. El rotor comprende un estator con un devanado a enfriar, que presenta una conductividad normal, en donde el devanado del estator se encuentra, al menos, parcialmente en una estructura de soporte. Dicha estructura de soporte contiene un cuerpo exterior con forma de cilindro hueco, conformado por material magnético blando, así como dientes de soporte con forma de resaltes, que se extienden de manera axial y radial en su lado interior, entre los cuales se encuentran dispuestas, al menos, partes del devanado del estator. El cuerpo exterior magnético blando se encuentra envuelto por una carcasa exterior que en la zona del cuerpo exterior conforma una pieza de carcasa con forma de cilindro hueco. El calor generado en el devanado del estator, se evacua al agua como medio refrigerante, a través de un dispositivo de refrigeración especial para el estator. A continuación, se explica de manera más detallada el dispositivo de refrigeración del estator.

El dispositivo de refrigeración del estator del motor sincrónico se puede utilizar particularmente para aquellos tipos de motor que presentan una relación considerable entre dimensiones del devanado del estator, es decir, en donde el estator presenta una extensión axial de la parte activa de su devanado del estator, que asciende a un múltiplo del diámetro exterior. Los tipos de motores correspondientes prácticamente no presentan espacio para conductos de refrigeración discretos en la zona de los dientes de soporte entre las piezas de espiral. Un tipo de motor correspondiente es particularmente el propulsor de hélice/POD seleccionado para el ejemplo de ejecución de las figuras 1 a 3. Para los detalles del propulsor no conformes a la presente invención, que no se explican en detalles en el dibujo, se remite a las formas de ejecución conocidas (comp. por ejemplo, WO 03/019759 A2 o EP 0 907 556 B1).

En la figura se indica con 2 una unidad de propulsión POD de un buque, con 3 una góndola del motor, con 4 un casco de un buque, con 5 un dispositivo de sujeción para la góndola del motor contra el casco del buque, con 6 un motor sincrónico, con 7 un rotor de dicho motor, con 8 un eje del rotor que se encuentra alojado en soportes de eje 9, con 10 una hélice de buque fijada en el eje, con 11 y un devanado trifásico con una lámina de entrehierro como devanado del estator, con 12 cabezas de devanado de dicho devanado, con 13 una culata de hierro de magnetismo

blando como cuerpo exterior de una estructura de soporte 14, con 15 una carcasa exterior del motor con una pieza de carcasa 15a que encierra el cuerpo exterior 13 magnético blando, con 16 una lámina de entrehierro existente entre el devanado con el estator 11 y el lado exterior del rotor 7, con A el eje del rotor 7 o bien, del árbol del rotor 8, con W los flujos térmicos y con K un medio refrigerante, como por ejemplo, agua. El medio refrigerante K se debe encontrar preferentemente a una temperatura inicial de entre 275K y 310K, particularmente entre 275K y 295K. En la representación seleccionada de la figura, el devanado del estator 11 se encuentra cubierto en gran parte por dientes de soporte 21i con forma de resaltes de la estructura de soporte 14, que se extienden axialmente, es decir, en el sentido del eje A. Sólo se pueden observar sus cabezas de devanado frontales 12. Los flujos térmicos W indicados se extienden entre el devanado 11 y los dientes de soporte 21i.

Como se indica en la figura mediante las líneas en flecha de los flujos térmicos W, el calor generado en los conductores eléctricos del devanado 11, se transfiere desde la zona del devanado, en primer lugar, hacia el cuerpo exterior 13 magnético blando que encierra dicha zona en su parte axial, y desde dicho punto se entrega al medio refrigerante K, al menos, a través de la pieza de carcasa 15a que encierra el cuerpo exterior. La carcasa se conforma en dicha zona, de manera ventajosa, de un material que presenta una conductividad térmica óptima, cuya conductividad térmica λ resulta mayor a la del hierro, y resulta particularmente mayor a 60 W/(K·m). Para ello, dicha carcasa se conforma, de manera ventajosa, de aleaciones de metal, como por ejemplo, bronce especiales, o utilizando mezclas o aleaciones de materias primas como de aluminio (Al) o magnesio (Mg). De esta manera, por ejemplo, una fundición de aluminio correspondiente puede presentar hasta 210 W/(K·m) o bien, una fundición de magnesio correspondiente puede presentar alrededor de 150 W/(K·m). Dichos materiales permiten simultáneamente una construcción liviana, y pueden generar también un incremento adicional de la superficie para el intercambio térmico en relación con el medio refrigerante K.

La figura 2 muestra el corte transversal a través del motor 6 de acuerdo con la figura 1, con la carcasa exterior 15 que encierra dicho motor o bien, su pieza de carcasa 15a. Los dientes de soporte individuales que se observan en este caso entre las piezas individuales del devanado del estator 11, se indican con el símbolo de referencia 21i. Dichos dientes junto con el cuerpo exterior 13 magnético blando, conforman la estructura de soporte 14 para el devanado 11.

En la figura 3 se observa un recorte aumentado de la figura 2, en la zona de una ranura del estator 20. Además, en la figura se indican con 21a y 21b, dos dientes de soporte 21i que limitan lateralmente la ranura del estator en el sentido periférico, con 22j los conductores del devanado o un paquete del devanado, por ejemplo, conductores de cobre del devanado del estator 11, con 23 se indica un aislamiento del conductor alrededor de los conductores individuales 22j, con 24 un aislamiento principal, con 25 una corredera de retención en la base de la ranura 20, y con 26 una corredera intermedia en una zona central de la ranura, por ejemplo, de acuerdo con la patente DE 102 27 559 A1. Además, no reviste importancia la cantidad de material conductor que se encuentra conectado en paralelo en el estator, o la cantidad de sistemas de estator que se utilizan en total. La resistencia térmica más importante consiste en el aislamiento de los conductores del devanado 22j, así como el aislamiento principal 24 entre el paquete de conductores y los dientes de soporte laterales 21a y 21b. A través de dichos aislamientos, el calor generado por los conductores 22j, llega a los dientes de soporte 21a y 21b conformados de manera que presentan una conductividad térmica óptima y ventajosa, y desde dicho punto llega al medio refrigerante K, a través del cuerpo exterior 13 magnético blando que rodea la ranura hacia el exterior, y de la pieza de carcasa 15a de la carcasa exterior 15. Además, se considera ventajoso cuando también la corredera intermedia 26 se fabrica con un material que presenta una conductividad térmica óptica, aunque con una conductividad eléctrica insuficiente, como por ejemplo, de un óxido de aluminio, nitruro de aluminio u otra cerámica que presente una conductividad térmica óptima.

En el caso del motor sincrónico del dispositivo de propulsión de acuerdo con la presente invención, los dientes de soporte 21a, 21b (o bien 21i) presentan tres funciones:

- transferencia de momentos mecánicos,
- sujeción y distanciamiento de los conductores del devanado 22j, así como
- la función térmica de la evacuación/transferencia térmica.

Como material para los dientes de soporte, se utilizan particularmente una de las cerámicas o aleaciones de metal anteriormente mencionadas que presentan una conductividad térmica óptima, aunque se considera también un material compuesto, particularmente con fibras de carbono con una conductividad térmica máxima, por ejemplo, un material compuesto de CFK (material plástico reforzado con fibras de carbono). Además, resulta particularmente ventajoso disponer el sentido de las fibras de manera que se pueda realizar un flujo térmico óptimo. Por ejemplo, los dientes de soporte presentan una forma de cuña. Además, resulta irrelevante la forma de ejecución y la estructura concreta que presenta un diente de soporte individual, por ejemplo, si dicho diente está conformado por una única pieza y de un único material, o si está conformado por diferentes partes con diferentes materiales, o de un material

tipo sándwich o un material compuesto. Sin embargo, en todos los casos se debe garantizar que el flujo térmico requerido W se pueda derivar de la manera indicada con una intensidad suficiente.

En el caso de la forma de ejecución de un propulsor POD de un buque de acuerdo con las figuras precedentes 1 a 3, se basa en el hecho de que la carcasa exterior 15 con la pieza de carcasa 15a se moja desde su lado exterior directamente con el agua de mar como medio refrigerante K. Naturalmente, el motor también resulta apropiado para otros circuitos de refrigeración que utilizan el medio refrigerante K. De esta manera, el medio refrigerante que enfría la pieza de carcasa, puede ser otro medio refrigerante diferente al agua, que se encuentra en un sistema de refrigeración propio, en donde dicho sistema de refrigeración o bien, el medio refrigerante adicional se encuentra acoplado de manera térmica, directa o indirectamente, con el medio refrigerante K, por ejemplo, agua dulce del buque o agua de mar. También se puede proporcionar un circuito de refrigeración adicional para dicho medio refrigerante adicional del motor, en donde se realiza un intercambio térmico entre dicho circuito de refrigeración adicional y el medio refrigerante agua.

El medio refrigerante que enfría el motor, al menos, en la zona de la pieza de carcasa 15a, se puede encontrar en un depósito para un baño de medio refrigerante, o también puede circular de manera forzada por la carcasa exterior. Una circulación de esta clase se puede realizar también en conductos discretos para el medio refrigerante, que se encuentran dispuestos, al menos, en o contra la pieza de carcasa. Por ejemplo, los serpentines correspondientes para el medio refrigerante se pueden encontrar montados en el lado exterior de la pieza de carcasa, conectados con dicha carcasa con una conductividad térmica óptima.

De manera preferente, mediante un enfriamiento directo o indirecto de esta clase, utilizando el medio refrigerante agua que en general presenta una temperatura inicial de entre 275K y 310 K, preferentemente entre 275K y 295K, se ajusta una temperatura de funcionamiento del devanado del estator 11 de entre 275K y 525K, preferentemente entre 275K y 455K.

Para el motor sincrónico 6 que se observa en la figura 4, se proporciona una técnica de refrigeración indirecta. La figura muestra una forma de ejecución del motor, de acuerdo con las figuras 1 a 3, que se encuentra sujeta en el interior de una carcasa del depósito 31 mediante puntales de soporte 32. En una o una pluralidad de cámaras intermedias 33, entre la carcasa del depósito y la carcasa exterior 15 del motor 6, se encuentra además el medio refrigerante K. La forma de ejecución representada se puede utilizar particularmente para propulsores de chorro de agua de buques, en los que el propio motor se encuentra en una carcasa de motor en el casco intermedio del buque. Para la instalación y la sujeción de la carcasa del depósito 31 en una base, se indican garras 34 en el exterior que actúan en la carcasa del depósito. En este caso, los puntales de soporte 32 transmiten el momento de torsión desde el motor o bien, desde su carcasa exterior, a la carcasa del depósito 31, y a través de las garras 34 dispuestas sobre dicha carcasa, hacia la base, por ejemplo, el casco intermedio del buque.

El medio refrigerante K que se encuentra entre la carcasa del depósito 31 y la carcasa del motor 15, es preferentemente un fluido o una mezcla de fluidos. El medio refrigerante se encuentra conectado con un circuito de refrigeración, por ejemplo, directa o indirectamente con el sistema de agua dulce de un buque. Eventualmente, se pueden utilizar bombas para ello. También resulta concebible un circuito de agua por separado, que enfríe mediante un intercambiador térmico con el agua de mar. Dicho circuito térmico separado puede presentar una circulación natural o una circulación forzada. En el caso de una circulación natural se deben realizar secciones transversales que presenten un tamaño correspondiente. La circulación natural se puede realizar, por ejemplo, debido a un efecto de termosifón, en el que se utiliza un medio refrigerante adaptado a las temperaturas, eventualmente agua.

En el caso de las formas de ejecución anteriormente mencionadas, se han basado en el hecho de que en el tipo de motor utilizado para el motor sincrónico, se trata de un motor con un rotor que presenta un devanado de rotor multipolar, particularmente con un material superconductor de alta temperatura crítica (por ejemplo, de acuerdo con la patente WO 03/047962 A2). Además, mediante el dispositivo de refrigeración del rotor, el devanado del rotor se debe mantener en general a una temperatura de funcionamiento de entre 4K y 120K, preferentemente entre 25K y 77K, particularmente entre 25K y 35K. Un motor correspondiente se puede proporcionar directamente como un motor de accionamiento o también como un generador para un sistema de propulsión de buque (comp. la declaración anteriormente mencionada WO-A2) Naturalmente, un motor de esta clase se puede conformar también con conductores utilizando material superconductor metálico convencional, o también con conductores enfriados que presentan una conductividad normal.

El dispositivo de refrigeración descrito anteriormente para el devanado del estator 11, se puede combinar de manera ventajosa con un dispositivo de refrigeración necesario para la refrigeración del devanado del rotor. Dado que en general la temperatura de funcionamiento del devanado del rotor es inferior a la temperatura para el devanado del estator, se puede recurrir al medio refrigerante agua utilizado para la refrigeración del devanado del estator, prácticamente sólo para el enfriamiento previo del dispositivo de refrigeración del rotor. Por lo tanto, se prevé convenientemente un circuito de refrigeración restante para el dispositivo de refrigeración del estator, y un segundo un circuito de refrigeración para el dispositivo de refrigeración del rotor. El medio refrigerante agua, que se conduce en un tercer circuito de refrigeración, se acopla de manera térmica, directa o indirectamente, con el primer y con el

segundo circuito de refrigeración. Eventualmente, el circuito de refrigeración con agua también se puede integrar en el primer circuito de refrigeración del dispositivo de refrigeración del estator.

A continuación, se tratan algunos puntos de vista para el diseño de un propulsor de chorro de agua, utilizando un motor sincrónico de HTS.

5 En este caso el objeto es diferente en comparación con el motor POD: El motor de accionamiento se debe instalar en el fondo intermedio del buque. En este caso, tiene prioridad la optimización del diámetro de la parte activa. La longitud de la parte activa no resulta muy relevante. Más bien, resulta oportuno un peso elevado. El rendimiento eléctrico debe ser elevado.

10 La longitud del eje del propulsor de chorro de agua depende, por una parte, de la inclinación en relación con el casco del buque y, por otra parte, de la altura constructiva del motor de accionamiento.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de propulsión de buque con un motor sincrónico (6) que comprende:

a) un rotor (7) con un devanado del rotor a refrigerar a baja temperatura, particularmente multipolar y superconductor, que se encuentra acoplado de manera térmica directa o indirectamente a un dispositivo de refrigeración del rotor, así como

b) un estator que rodea el rotor (7) conformando una lámina de entrehierro (16), que presenta

- un devanado del estator (11) a refrigerar, que presenta una conductividad normal,

- una estructura de soporte (14) que aloja, al menos, parcialmente el devanado del estator (11), que presenta un cuerpo exterior (13) esencialmente con forma de cilindro hueco, conformado por material magnético blando,

- una carcasa exterior (15) con una pieza de carcasa (15a) con forma de cilindro hueco, que encierra directamente el cuerpo exterior (13), y

un dispositivo de refrigeración del estator para la evacuación del calor (W) generado por el devanado del estator (11) hacia el agua como un medio refrigerante (K), en donde se realiza un enfriamiento de la pieza de carcasa (15a), al menos, en las zonas parciales mediante un intercambio térmico con el medio refrigerante (K) en o sobre la pieza de carcasa (15a),

caracterizado porque,

- se realiza un acoplamiento térmico del devanado del estator (11) con el medio refrigerante (K) a través de la estructura de soporte (14) y de la pieza de carcasa (15a),

- la estructura de soporte (14) comprende dientes de soporte (21i) con forma de resaltes, que se extienden de manera axial y radial en el lado interior del cuerpo exterior (13) con forma de cilindro hueco, entre los cuales se encuentran dispuestas, al menos, partes del devanado del estator (11),

- la evacuación del calor generado por el devanado del estator (11) se realiza prácticamente de manera completa mediante la conducción térmica en los dientes de soporte (21i),

- los dientes de soporte (21i) están conformados por un material que presenta una conductividad térmica mayor a 60 W/(K·m).

2. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por** una refrigeración de la pieza de carcasa (15a) desde su lado exterior.

3. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** se prevé una refrigeración mediante un baño de refrigeración.

4. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado por** una circulación forzada del medio refrigerante (K) agua, o de otro medio refrigerante acoplado de manera térmica con el medio refrigerante agua.

5. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado porque** la circulación se prevé en conductos de refrigeración.

6. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** a la pieza de carcasa (15a) se conecta otro medio refrigerante que se encuentra en un sistema de refrigeración propio.

7. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado porque** para el medio refrigerante agua se proporciona un circuito de refrigeración adicional.

8. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el medio refrigerante agua consiste en agua que lleva consigo el buque o agua extraída del mar.

9. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por** una temperatura inicial del medio refrigerante agua de entre 275K y 310K, preferentemente de entre 275K y 295K.

10. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por** una refrigeración del devanado del estator (11) mediante el dispositivo de refrigeración del estator, a una temperatura de funcionamiento de entre 275K y 525K, preferentemente de entre 275K y 455K.
- 5 11. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el devanado del rotor se fabrica con superconductores de alta temperatura crítica.
12. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado por** una refrigeración del devanado del rotor mediante el dispositivo de refrigeración del rotor, a una temperatura de funcionamiento de entre 4K y 120K, preferentemente de entre 25K y 77K, particularmente entre 25K y 35K.
- 10 13. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el dispositivo de refrigeración del rotor se acopla de manera térmica al medio refrigerante agua del dispositivo de refrigeración del estator.
14. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado por**
- un primer circuito de refrigeración del dispositivo de refrigeración del estator,
 - un segundo circuito de refrigeración del dispositivo de refrigeración del rotor, y
- 15 • un tercer circuito de refrigeración con el medio refrigerante agua, que se encuentra acoplado de manera térmica directa o indirectamente con el primer y el segundo circuito de refrigeración.
- 20 15. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el estator presenta una extensión axial de la parte activa de su devanado del estator (11), que asciende, al menos, al doble de su diámetro exterior, preferentemente, al menos, al cuádruple, particularmente, al menos, al séxtuple de dicho diámetro.
16. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** los dientes de soporte (21i) están conformados, al menos, parcialmente por una aleación de metales, o una cerámica o un material compuesto.
- 25 17. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la pieza de carcasa (15a) está conformada, al menos, parcialmente por un material con una conductividad térmica λ mayor a la conductividad térmica del hierro.
18. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la pieza de carcasa (15a) está conformada por un material que presenta una conductividad térmica λ mayor a 60 W/(K·m).
- 30 19. Sistema de propulsión de buque de acuerdo con la reivindicación 18, **caracterizado porque** como material se proporciona una aleación de metales, o una cerámica o un material compuesto.

FIG 1

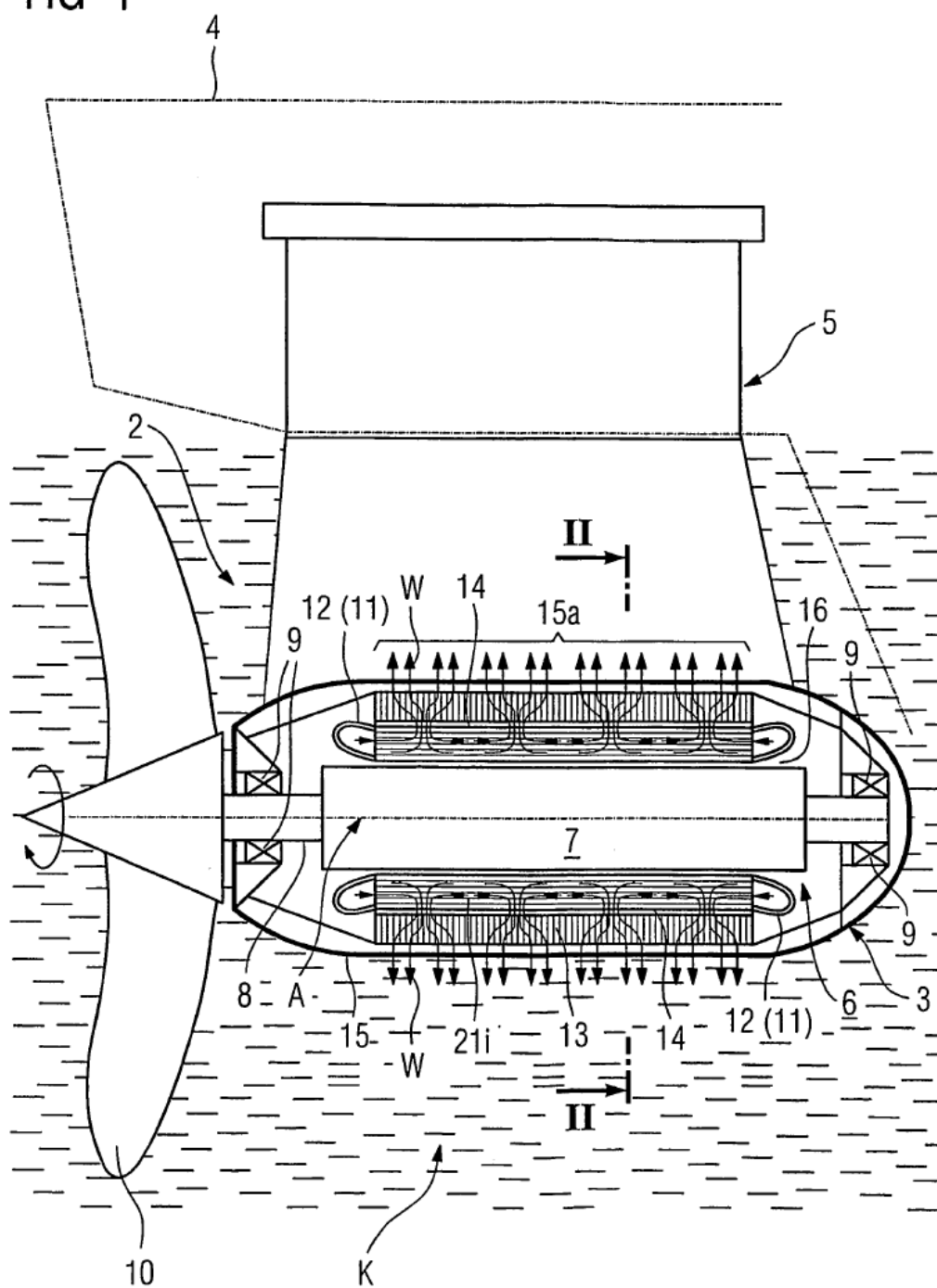


FIG 2

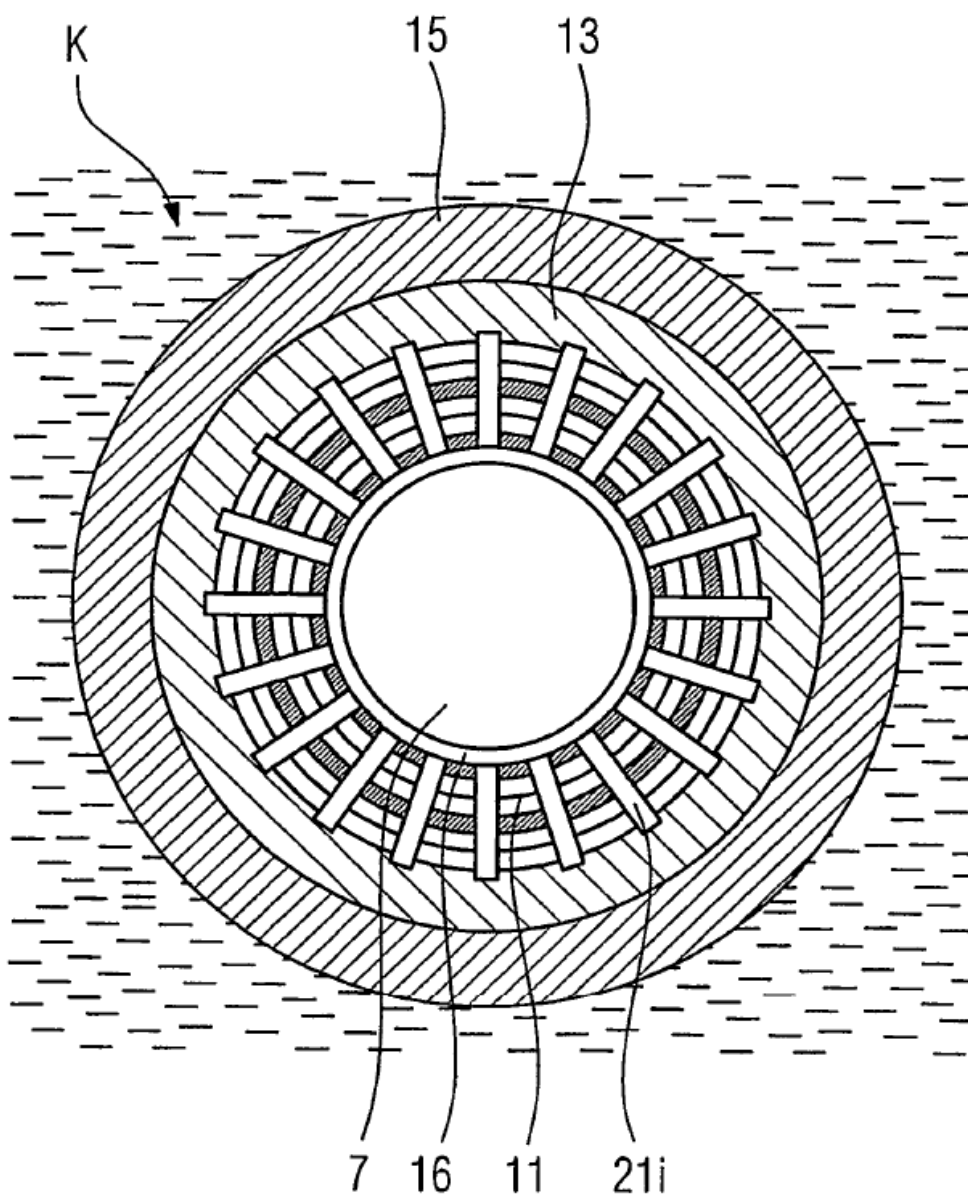


FIG 3

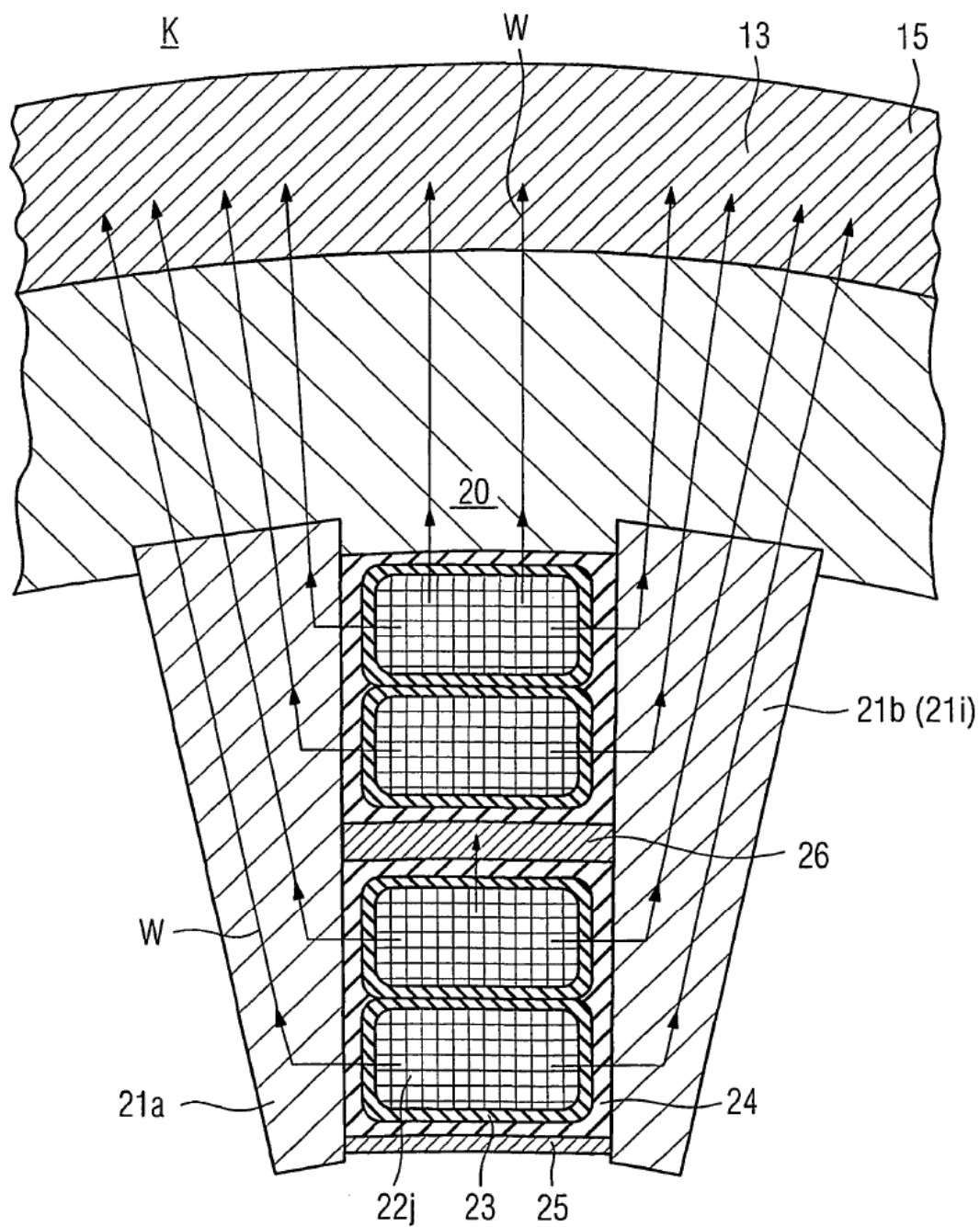


FIG 4

