

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 972 667**

51 Int. Cl.:

H02K 7/18 (2006.01)

F03D 9/25 (2006.01)

H02K 55/00 (2006.01)

H02K 55/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.06.2018 PCT/US2018/039701**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.01.2020 WO20005222**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2018 E 18743226 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.01.2024 EP 3814630**

54 Título: **Turbina eólica que tiene un generador superconductor y procedimiento para operar la misma**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.06.2024

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA,
S.L. (100.0%)
Calle Roc Boronat 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**TORREY, DAVID, ALLAN;
VERMILYEA, MARK, ERNEST;
ASHAR, SIDHARTH, NAVINCHANDRA;
KAGAN, ALEXANDER;
ZIERER, JOSEPH, JOHN;
STAUTNER, ERNST, WOLFGANG y
THOMPSON, PARL, ST. MARK SHADFORTH**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 972 667 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

Turbina eólica que tiene un generador superconductor y procedimiento para operar la misma

5 **Campo técnico**

[0001] Los modos de realización de la presente memoria descriptiva se refieren en general a una turbina eólica y, en particular, a una turbina eólica que incluye un generador superconductor.

10 **Antecedentes**

[0002] Las máquinas convencionales tales como un generador superconductor convencional típicamente incluyen devanados de campo y una armadura. La armadura incluye un núcleo ferromagnético tradicional y devanados de armadura dispuestos sobre el núcleo ferromagnético tradicional. Los devanados de armadura se forman en general usando materiales convencionales, por ejemplo cobre o aluminio. Mientras, los devanados de campo incluyen cables superconductores que soportan densidades de corriente muy altas sin incurrir en ninguna disipación. Cuando se opera el generador superconductor convencional, los cables superconductores generan un campo magnético muy alto, por ejemplo, del orden de 7 Tesla o mayor debido a las altas densidades de corriente en el devanado de campo. Este campo magnético incrementado provocado por los cables superconductores en general está por encima de la densidad de flujo de saturación de los materiales ferromagnéticos tradicionales. Adicionalmente, debido a las corrientes en los devanados de armadura, la armadura también se calienta. Durante la operación, a medida que se calienta la armadura y se enfrían los devanados de campo, la densidad de potencia en el generador superconductor convencional se reduce y la eficacia de dicho generador superconductor convencional también se ve comprometida. El documento US 2016/0276918 A1 se refiere a una máquina eléctrica superconductora. El documento US 2009/0224550 A1 se refiere a un generador eólico de accionamiento directo superconductor.

Breve descripción

[0003] La invención se define en las reivindicaciones adjuntas. De acuerdo con un modo de realización de la presente invención, se presenta una turbina eólica. La turbina eólica incluye un rotor que tiene una pluralidad de palas. La turbina eólica incluye además un eje acoplado al rotor. Además, la turbina eólica incluye un generador superconductor acoplado al rotor por medio del eje. El generador superconductor incluye una armadura configurada para rotar por medio del eje. El generador superconductor incluye además un campo estacionario dispuesto concéntrico a y radialmente hacia afuera de la armadura.

[0004] De acuerdo con otro modo de realización de la presente invención, se presenta un procedimiento. El procedimiento incluye operar una turbina eólica que tiene un generador superconductor que incluye una armadura que tiene un devanado de armadura y un campo estacionario que tiene un devanado de campo superconductor, estando dispuesto el campo estacionario concéntrico y radialmente hacia afuera de la armadura, con lo que se reduce un espacio magnético entre el devanado de campo superconductor y el devanado de armadura durante la operación del generador superconductor.

Dibujos

[0005] Estos y otros rasgos característicos, aspectos y ventajas de la presente memoria descriptiva se entenderán mejor cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos, en los que caracteres similares representan partes similares en todos los dibujos, en los que:

la FIG. 1 es un diagrama esquemático de una turbina eólica de ejemplo, de acuerdo con un modo de realización de la presente memoria descriptiva;

la FIG. 2 es un diagrama esquemático de una máquina eléctrica, por ejemplo, un generador superconductor, de acuerdo con un modo de realización de la presente memoria descriptiva;

la FIG. 3 es una vista en perspectiva en sección transversal de una parte de la máquina eléctrica (por ejemplo, el generador superconductor) de la FIG. 2, de acuerdo con un modo de realización de la presente memoria descriptiva; y

la FIG. 4 es un diagrama de flujo de un procedimiento para operar la turbina eólica de la FIG. 1, de acuerdo con un modo de realización de la presente memoria descriptiva.

Descripción detallada

[0006] En un esfuerzo por proporcionar una descripción concisa de estos modos de realización, puede que no se describan todos los rasgos característicos de una implementación real en la memoria descriptiva. Se debe apreciar que en el desarrollo de cualquier dicha implementación real, como en cualquier proyecto de ingeniería o diseño, se

pueden tomar numerosas decisiones específicas de implementación para lograr los objetivos específicos del desarrollador, tales como el cumplimiento de las restricciones relacionadas con el sistema y con el negocio.

[0007] A menos que se defina de otro modo, los términos técnicos y científicos usados en el presente documento tienen el mismo significado que se entiende comúnmente por un experto en la técnica a la que pertenece la memoria descriptiva. Los términos "primero", "segundo" y similares, como se usan en el presente documento, no indican ningún orden, cantidad o importancia, sino que se usan para distinguir un elemento de otro. Además, los términos "un" y "una" no denotan una limitación de cantidad, sino que indican la presencia de al menos uno de los elementos referenciados. El uso de los términos "que incluye", "que comprende" o "que tiene" y de variaciones de los mismos en el presente documento pretende englobar los elementos enumerados después de esto y equivalentes de los mismos así como elementos adicionales. Los términos "conectado" y "acoplado" no están restringidos a conexiones o acoplamientos físicos o mecánicos, y pueden incluir conexiones o acoplamientos eléctricos o magnéticos, ya sean directos o indirectos. El término "espacio magnético" como se usa en el presente documento se refiere a una distancia radial media entre un devanado de campo superconductor y un devanado de armadura.

[0008] Como se usa en el presente documento, los términos "puede" y "puede ser/se puede" indican la posibilidad de un acontecimiento dentro de un conjunto de circunstancias; una posesión de una propiedad, característica o función específica; y/o califican otro verbo expresando uno o más de una habilidad, capacidad o posibilidad asociada con el verbo calificado. En consecuencia, el uso de "puede" y "puede ser/se puede" indica que un término modificado es aparentemente apropiado, capaz o adecuado para una capacidad, función o uso indicado, teniendo en cuenta que en algunas circunstancias, el término modificado a veces puede no ser apropiado, capaz o adecuado.

[0009] Como se describirá en detalle a continuación en el presente documento, se presentan diversos modos de realización de una turbina eólica. La turbina eólica incluye un rotor que tiene una pluralidad de palas. La turbina eólica incluye además un eje acoplado al rotor. Además, la turbina eólica incluye un generador superconductor acoplado al rotor por medio del eje. El generador superconductor incluye una armadura configurada para rotar por medio del eje. El generador superconductor incluye además un campo estacionario dispuesto concéntrico a y radialmente hacia afuera de la armadura.

[0010] En referencia ahora a la FIG. 1, se presenta un diagrama esquemático de una turbina eólica de ejemplo 100, de acuerdo con un modo de realización de la presente memoria descriptiva. La turbina eólica 100 se puede configurar para generar potencia eléctrica usando energía eólica. La turbina eólica 100 descrita e ilustrada en el modo de realización de la FIG. 1 incluye una configuración de eje horizontal. Sin embargo, en algunos modos de realización, la turbina eólica 100 puede incluir, además de o como alternativa a la configuración de eje horizontal, una configuración de eje vertical (no mostrada). La turbina eólica 100 se puede acoplar a, tal como, pero sin limitarse a, una red de potencia, para recibir potencia eléctrica de la misma para accionar la operación de la turbina eólica 100 y/o sus componentes asociados y/o para suministrar potencia eléctrica generada por la turbina eólica 100 a la misma. La turbina eólica 100 se puede acoplar a una carga eléctrica (no mostrada) para suministrar potencia eléctrica generada por la turbina eólica 100 a la carga eléctrica.

[0011] La turbina eólica 100 puede incluir un cuerpo 102, a veces denominado "góndola", y un rotor 104 acoplado al cuerpo 102. El rotor 104 se configura para rotar con respecto al cuerpo 102 alrededor de un eje de rotación 106. En el modo de realización de la FIG. 1, la góndola 102 se muestra montada en una torre 108. Sin embargo, en algunos otros modos de realización, la turbina eólica 100 puede incluir una góndola que se puede disponer contigua al suelo y/o a una superficie de agua.

[0012] El rotor 104 puede incluir un buje 110 y una pluralidad de palas 112 (a veces denominadas "perfiles alares") que se extienden radialmente hacia afuera desde el buje 110 para convertir la energía eólica en energía de rotación. Aunque en el presente documento se describe e ilustra el rotor 104 que tiene tres palas 112, el rotor 104 puede tener cualquier número de palas 112. El rotor 104 puede tener palas 112 de cualquier conformación, y puede tener palas 112 de cualquier tipo y/o cualquier configuración, tanto si dicha conformación, tipo y/o configuración se describe y/o se ilustra en el presente documento.

[0013] En algunos modos de realización, la góndola 102 puede alojar, total o parcialmente, uno o más de un generador superconductor 114 y un eje 116. El generador superconductor 114 se puede acoplar al rotor 104 por medio del eje 116 y configurarse para operar por medio del rotor 104. Por ejemplo, las rotaciones del rotor 104 debidas a la energía eólica provocan a su vez que un elemento rotatorio (por ejemplo, una armadura) del generador superconductor 114 rote por medio del eje 116. En algunos modos de realización, el eje 116 también puede incluir una caja de engranajes (no mostrada). En determinados modos de realización, el uso de la caja de engranajes puede incrementar la velocidad en operación del generador superconductor 114 y reducir el requisito de par de torsión para un nivel de potencia dado. La presencia o ausencia de la caja de engranajes es irrelevante para los modos de realización del generador superconductor 114 descritos en la presente memoria descriptiva.

[0014] El generador superconductor 114 se configura para generar potencia eléctrica en base al menos a las rotaciones de la armadura (mostrada en las FIGS. 2 y 3) en relación con el campo estacionario. De acuerdo con algunos modos de realización descritos en el presente documento, el generador superconductor 114 se puede

configurar para producir magnitudes incrementadas de corriente eléctrica en comparación con los generadores tradicionales. El generador superconductor 114 se puede implementar en forma de un generador síncrono. El generador superconductor 114 se describirá con mayor detalle junto con las FIGS. 2 y 3.

5 **[0015]** En la FIG. 2, se presenta un diagrama esquemático de una máquina eléctrica, por ejemplo, un generador superconductor 200, de acuerdo con un modo de realización de la presente memoria descriptiva. El generador superconductor 200 puede ser representativo de un modo de realización del generador superconductor 114 usado en la turbina eólica 100 de la FIG. 1. Sin limitar el alcance de la presente solicitud, el generador superconductor 200 se puede usar en cualquier aplicación distinta de las turbinas eólicas. A modo de ejemplo no limitante, el generador superconductor 200 representado en la FIG. 2 es una máquina eléctrica de campo radial. Además, aunque el generador superconductor 200 se muestra como la máquina eléctrica de la FIG. 2, en algunos otros modos de realización, la máquina eléctrica de la FIG. 2 también puede ser un motor superconductor. Los números de referencia 20 y 22 representan respectivamente una dirección axial y una dirección radial del generador superconductor 200.

15 **[0016]** Como se representa en la FIG. 2, el generador superconductor 200 incluye un campo estacionario 202 y una armadura 204 dispuesta en una carcasa 206. A modo de ejemplo, en algunos modos de realización, cuando el generador superconductor 200 se despliega como el generador superconductor 114 en la turbina eólica 100, la armadura 204 se puede acoplar al rotor 104 de la turbina eólica 100 por medio del eje 116 o por medio de tanto del eje 116 como de la caja de engranajes. La armadura 204 se puede configurar para rotar por medio del eje 116. Debido a las rotaciones de la armadura 204, el generador superconductor 200 puede generar potencia eléctrica en virtud del voltaje inducido en los devanados de armadura a medida que pasan por el campo magnético establecido por el devanado de campo superconductor 208.

25 **[0017]** Una vista en despiece del generador superconductor 200 se representa en la FIG. 2 para mostrar por separado el campo estacionario 202 y una armadura 204. El campo estacionario 202 incluye un devanado de campo superconductor 208 (también identificado por el número de referencia 308 en la FIG. 3) que se configura para generar un campo magnético orientado en la dirección radial 22 del generador superconductor 200. Además, la armadura 204 puede incluir un devanado de armadura (identificado por el número de referencia 320 en la FIG. 3). En algunos modos de realización, el devanado de armadura 320 es un devanado no superconductor.

30 **[0018]** El campo estacionario 202 se dispone concéntrico a y radialmente hacia afuera de la armadura 204. El campo estacionario 202 se mantiene a una temperatura adecuada para mantener el campo estacionario 202 superconductor, en general mucho menor que la temperatura de la armadura 204. Típicamente, para permitir la propiedad superconductora del campo estacionario 202, el campo estacionario 202 se mantiene dentro de un intervalo criogénico de aproximadamente 4 grados Kelvin si el devanado de campo superconductor 208, 308 se compone de material superconductor de baja temperatura; si el devanado de campo superconductor 208, 308 se compone de material superconductor de alta temperatura, el campo estacionario 202 se mantiene a una temperatura de aproximadamente 30 grados Kelvin. A modo de ejemplo no limitante, el material superconductor de baja temperatura puede incluir una aleación de niobio y estaño, o una aleación de niobio y titanio. A modo de ejemplo no limitante, el material superconductor de alta temperatura puede incluir óxido de itrio, bario y cobre (YBCO).

45 **[0019]** A medida que el campo estacionario 202 se lleva desde la temperatura ambiente a su temperatura criogénica para la operación del generador superconductor 200, el campo estacionario 202 se puede contraer/encoger de tamaño. En consecuencia, se reduce un radio interior del campo estacionario 202, acercando de este modo el campo estacionario 202 a la armadura 204, lo que da como resultado una reducción en el espacio magnético entre el devanado de campo superconductor 208, 308 y el devanado de armadura 320. El término "espacio magnético" como se usa en el presente documento se refiere a una distancia radial media entre el devanado de campo superconductor 208, 308 dispuesto en el campo estacionario 202 y el devanado de armadura 320 dispuesto en la armadura 204. A modo de ejemplo no limitante, para una aplicación de turbina eólica marina grande, el campo estacionario 202 del generador superconductor 200 se puede diseñar para tener un radio interior en un intervalo de aproximadamente 3 metros a 5 metros. En otro ejemplo no limitante, el radio interior del campo estacionario es de aproximadamente 4 metros. Además, cuando se opera a temperaturas criogénicas, el campo estacionario 202 se puede encoger, por ejemplo, hasta aproximadamente un 1 por ciento, durante la operación de la turbina eólica 100, lo que da como resultado una reducción en el espacio magnético entre el devanado de campo superconductor 208, 308 y el devanado de armadura 320. A temperaturas criogénicas, el campo estacionario 202 se puede encoger aproximadamente un 0,5 por ciento, lo que da como resultado una reducción de aproximadamente 20 milímetros para el campo estacionario 202 que tiene un radio interior de aproximadamente 4 metros, por ejemplo.

60 **[0020]** La temperatura de la armadura 204 está a o por encima de la temperatura ambiente ya que la armadura 204 incluye el devanado de armadura 320. Además, durante la operación del generador superconductor 200, la armadura 204 se puede calentar debido a las pérdidas de conducción asociadas con las corrientes que fluyen en la armadura 204, lo que da como resultado una expansión de la armadura 204. En consecuencia, se incrementa el radio exterior de la armadura 204. La armadura 204 también puede experimentar cierta expansión debido a la carga centrífuga a medida que rota, sumándose a la expansión debida al calentamiento. Por lo tanto, debido a la contracción del campo estacionario 202 y/o expansión de la armadura 204 y debido a que el campo estacionario 202 se dispone concéntrico a y radialmente hacia afuera de la armadura 204, se reduce el espacio magnético entre el campo estacionario 202 y

la armadura 204. A modo de ejemplo no limitante, para una aplicación del generador superconductor 200 en una turbina eólica marina, el generador superconductor 200 se puede diseñar con un espacio magnético entre el campo estacionario 202 y la armadura 204 de aproximadamente 45 milímetros. En algunos modos de realización, el espacio magnético entre el campo estacionario 202 y la armadura 204 se puede reducir hasta aproximadamente 5 milímetros durante la operación del generador superconductor 200. La reducción en el espacio magnético entre el campo estacionario 202 y la armadura 204 da lugar a un incremento en una densidad de flujo magnético (es decir, flujo magnético por unidad de área) en el generador superconductor 200. De forma ventajosa, también se incrementa la eficacia del generador superconductor 200. Se describirán detalles estructurales adicionales del campo estacionario 202 junto con la FIG. 3.

[0021] Volviendo ahora a la FIG. 3, se presenta una vista en sección transversal en perspectiva 300 de una porción del generador superconductor 200 de la FIG. 2, de acuerdo con un modo de realización de la presente memoria descriptiva. El generador superconductor 200 incluye un campo estacionario 302 (similar al campo estacionario 202 de la FIG. 2) y una armadura 304 (similar a la armadura 204 de la FIG. 2). El campo estacionario 302 se dispone concéntrico a y radialmente hacia afuera de la armadura 304 e incluye un recipiente de vacío 306 y un devanado de campo superconductor 308. En algunos modos de realización, el generador superconductor 200 también puede incluir uno o más depósitos 310, uno o más conductos 312, un aparato de enfriamiento 314, un escudo térmico 316, una o más estructuras de transferencia de par de torsión 318 tales como tubos de par de torsión, o combinaciones de los mismos. Además, la armadura 304 incluye un devanado de armadura 320. En algunos modos de realización, el devanado de armadura 320 es un devanado no superconductor. En el modo de realización mostrado en la FIG. 3, los tubos de par de torsión se usan como estructuras de transferencia de par de torsión 318. También se pueden usar otros tipos de estructuras de transferencia de par de torsión o mecanismos de transferencia de par de torsión en lugar de o además de los tubos de par de torsión, sin limitar el alcance de la presente memoria descriptiva. En la descripción a continuación en el presente documento, los términos "estructuras de transferencia de par de torsión" y "tubos de par de torsión" se usan de manera intercambiable.

[0022] Como se representa en la vista en sección transversal en perspectiva 300 de la FIG. 3, el recipiente de vacío 306 (también denominado criostato) es un recipiente anular que aloja, total o bien parcialmente, uno o más de los devanados de campo superconductor 308, el depósito 310, el uno o más conductos 312, el aparato de enfriamiento 314, el escudo térmico 316 y el uno o más tubos de par de torsión 318. Los números de referencia 322 y 324 representan respectivamente una pared interior y una pared exterior del recipiente de vacío 306. En algunos modos de realización, la pared interior 322 se orienta hacia la armadura 304. Más en particular, el campo estacionario 302 y la armadura 304 se disponen de modo que la pared interior 322 del recipiente de vacío 306 se sitúe radialmente opuesta a una superficie exterior 326 de la armadura 304.

[0023] En algunos modos de realización, la pared interior 322 del recipiente de vacío 306 es más fina que la pared exterior 324 del recipiente de vacío 306. Se aplican fuerzas radialmente hacia afuera sobre la pared interior 322 del recipiente de vacío que pueden cargar la pared interior 322 en tensión. Las fuerzas sobre la pared exterior 324 del recipiente de vacío se dirigen en una dirección radialmente hacia dentro, cargando de este modo la pared exterior 324 en compresión. Las fuerzas de compresión pueden provocar pandeo si la pared exterior 324 no es suficientemente gruesa. Debido a la diferencia en la dirección de las fuerzas radiales entre la pared interior 322 y la pared exterior 324, la pared exterior 324 se puede diseñar para que sea más gruesa que la pared interior 322.

[0024] Debido a la presión ambiental exterior y al vacío interior, el recipiente de vacío 306 se somete a una carga de presión diferencial. En algunos modos de realización, la pared interior 322 del recipiente de vacío 306 es más fina que la pared exterior 324 del recipiente de vacío 306. Se aplican fuerzas radialmente hacia afuera sobre la pared interior 322 del recipiente de vacío que carga la pared interior 322 en tensión. Las fuerzas sobre la pared exterior 324 del recipiente de vacío se dirigen en una dirección radialmente hacia dentro, cargando de este modo la pared exterior 324 en compresión. Las fuerzas de compresión pueden provocar pandeo si la pared exterior 324 no es suficientemente gruesa. Debido a la diferencia en la dirección de las fuerzas radiales entre la pared interior 322 y la pared exterior 324, la pared exterior 324 se diseña para que sea más gruesa que la pared interior 322.

[0025] Además, en algunos modos de realización, el campo estacionario 302 también puede incluir una disposición adecuada para enfriar y mantener el devanado de campo superconductor 308 a temperaturas criogénicas. A modo de ejemplo, dicha disposición para enfriar el devanado de campo superconductor 308 puede incluir uno o más del depósito 310, los conductos 312 y el aparato de enfriamiento 314. El depósito 310 se dispone en comunicación fluida con el aparato de enfriamiento 314 y almacena un fluido de enfriamiento. Aunque se muestra que el campo estacionario 202 incluye un único depósito 310, también se prevé dentro del alcance de la presente memoria descriptiva el uso de dos o más de dichos depósitos para contener el fluido de enfriamiento. Los ejemplos no limitantes del fluido de enfriamiento pueden incluir cualquier tipo de fluido de enfriamiento gaseoso o condensado, por ejemplo, helio líquido.

[0026] Además, el aparato de enfriamiento 314 se puede disponer dentro o fuera del recipiente de vacío 306 y configurar para enfriar el fluido de enfriamiento para mantener el devanado de campo superconductor 308 a una temperatura que está por debajo de una temperatura criogénica. A la temperatura criogénica, el material del devanado de campo 308 es superconductor. El intervalo de temperatura apropiado para la operación del devanado de campo superconductor 308 depende del material superconductor seleccionado para el devanado de campo superconductor

308. En particular, el aparato de enfriamiento 314 se puede configurar para enfriar el fluido de enfriamiento para mantener el devanado de campo superconductor 308 a las temperaturas criogénicas, por ejemplo, a aproximadamente 4 grados Kelvin que pueden ser apropiadas para el material superconductor de baja temperatura tal como una aleación de niobio y titanio. En otro ejemplo no limitante, el aparato de enfriamiento 314 se puede configurar para enfriar el fluido de enfriamiento para mantener la temperatura del devanado de campo superconductor 308 en un intervalo de aproximadamente 3,6 grados Kelvin a aproximadamente 4,8 grados Kelvin que puede ser apropiado para el material superconductor de baja temperatura tal como una aleación de niobio y estaño. Aún en otro ejemplo no limitante, el aparato de enfriamiento 314 se puede configurar para enfriar el fluido de enfriamiento para mantener la temperatura del devanado de campo superconductor 308 en un intervalo de aproximadamente 20 grados Kelvin a aproximadamente 26 grados Kelvin que puede ser apropiado para un material superconductor de alta temperatura tal como el óxido de itrio, bario y cobre (YBCO). Además, en un ejemplo no limitante, se puede usar helio líquido como fluido de enfriamiento para superconductores de baja temperatura porque tiene una temperatura de aproximadamente 5,19 grados Kelvin. En otro ejemplo no limitante, para los materiales superconductores de alta temperatura, se puede usar hidrógeno o neón como fluido de enfriamiento.

[0027] Los conductos 312 se pueden disponer dentro del recipiente de vacío 306 y acoplar de manera fluida al depósito 310. Los conductos 312 se pueden disponer de forma anular dentro del recipiente de vacío 306. Los conductos 312 se configuran para facilitar el flujo del fluido de enfriamiento dentro del campo estacionario 202. En particular, el fluido de enfriamiento circula pasivamente de forma anular dentro del campo estacionario 202 a través de los conductos 312, accionado por gradientes de densidad y cambios de fase. Mientras circula, el fluido de enfriamiento retira cualquier calor (tal como de la transferencia de calor por radiación o conducción o del calentamiento por corrientes parásitas creada por la operación del generador) depositado sobre o dentro de una estructura de baja temperatura del campo estacionario 302 y el devanado de campo superconductor 308, manteniendo de este modo el devanado de campo superconductor 308 a temperaturas criogénicas.

[0028] Además, en algunos modos de realización, el escudo térmico 316 se puede disponer dentro del recipiente de vacío 306. En algunos modos de realización, el escudo térmico 316 se puede disponer dentro del recipiente de vacío 306 de modo que el escudo térmico 316 encierra el devanado de campo superconductor 308 y ayuda a mantener la temperatura del devanado de campo superconductor 308 a las temperaturas criogénicas.

[0029] Adicionalmente, en algunos modos de realización, el campo estacionario 302 puede incluir uno o más tubos de par de torsión 318 dispuestos dentro del recipiente de vacío 306. En algunos modos de realización, los tubos de par de torsión 318 se pueden disponer anularmente dentro del recipiente de vacío 306. A modo de ejemplo, los tubos de par de torsión 318 se pueden disponer contiguos a una o más paredes del escudo térmico 316. En particular, aunque algunos tubos de par de torsión 318 se pueden disponer dentro del escudo térmico 316, algunos otros tubos de torsión 318 se pueden disponer fuera del escudo térmico. Los tubos de par de torsión 318 se configuran para soportar un par de torsión de reacción provocado debido a una interacción entre un campo magnético producido por la armadura 204 y un campo magnético producido por el devanado de campo superconductor 308.

[0030] En referencia ahora a la FIG. 4, un diagrama de flujo 400 de un procedimiento para operar la turbina eólica 100 de la FIG. 1, de acuerdo con un modo de realización de la presente memoria descriptiva. La FIG. 4 se describirá junto con las FIGS. 1-3. El procedimiento de la FIG. 4 incluye operar, en la etapa 402, la turbina eólica 100 que tiene el generador superconductor 114, 200 incluyendo la armadura 204, 304 que tiene el devanado de armadura 320 y el campo estacionario 202, 302 que tiene el devanado de campo superconductor 208, 308. Como se indica previamente, el campo estacionario 202, 302 se dispone concéntrico a y radialmente hacia afuera de la armadura 204, 304, con lo que se reduce el espacio magnético entre el devanado de campo superconductor 208, 308 y el devanado de armadura 320 durante la operación de la turbina eólica. 100. En particular, el espacio magnético entre el devanado de campo superconductor 208, 308 y el devanado de armadura 320 se reduce debido a una contracción del campo estacionario, una expansión de la armadura o una combinación de ambas. Por ejemplo, como se describe previamente, cuando se opera a las temperaturas criogénicas, el campo estacionario 202, 302 se puede encoger/contraer. Además, debido a la temperatura incrementada de la armadura 204, 304, la armadura 204, 304 también puede experimentar cierta expansión. Debido a la contracción del campo estacionario 202, 302 y/o expansión de la armadura 204, 304, y debido a que el campo estacionario 202, 302 se dispone concéntrico a y radialmente hacia afuera de la armadura 204, 304, se reduce el espacio magnético entre el campo estacionario 202 y la armadura 204.

[0031] La etapa 402 de operar la turbina eólica 100 incluye impartir rotaciones a la armadura 204, 304 del generador superconductor 114, 200 por medio del rotor 104 de la turbina eólica 100, como se indica por la etapa 404. El rotor 104 de la turbina eólica 100 se acopla mecánicamente a la armadura 204, 304 del generador superconductor 114, 200 de modo que las rotaciones del rotor 104 debidas a la energía eólica dan como resultado rotaciones de la armadura 204, 304 del generador superconductor 114, 200.

[0032] Además, la etapa 402 de operar la turbina eólica 100 incluye enfriar el devanado de campo superconductor 208, 308 hasta una temperatura criogénica por medio del aparato de enfriamiento 314, como se indica en la etapa 406. El fluido de enfriamiento tal como helio líquido, hidrógeno, neón o combinaciones de los mismos, se puede enfriar y hacer circular por medio del aparato de enfriamiento 314 dentro del campo estacionario 202, 302 a través de uno o

más conductos 312 para mantener el devanado de campo superconductor 208, 308 a la temperatura criogénica de modo que el material del devanado de campo 308 es superconductor.

5 **[0033]** De acuerdo con los modos de realización descritos en el presente documento, se proporcionan una turbina eólica mejorada tal como la turbina eólica 100 y un generador superconductor mejorado tal como el generador superconductor 114, 200. Las mejoras en la turbina eólica 100 y el generador superconductor 114, 200 se pueden lograr, al menos parcialmente, debido a una disposición potenciada del campo estacionario 202, 302 y la armadura 204, 304, de acuerdo con algunos modos de realización de la presente memoria descriptiva. En particular, el campo estacionario 202, 302 se dispone concéntrico a y radialmente hacia afuera de la armadura 204, 304. De forma ventajosa, debido a la contracción del campo estacionario 202, 302 y/o expansión de la armadura 204, 304 y debido a que el campo estacionario 202, 302 se dispone concéntrico a y radialmente hacia afuera de la armadura 204, 304, se reduce el espacio magnético entre el campo estacionario 202, 302 y la armadura 204, 304 durante la operación del generador superconductor 114, 200. La reducción en el espacio magnético entre el campo estacionario 202, 302 y la armadura 204, 304 da lugar a un incremento en el flujo magnético que une la armadura 204, 304 del generador superconductor 114, 200. De forma ventajosa, también se incrementa una eficacia del generador superconductor 114, 200 porque se necesita menos corriente de armadura para producir una potencia dada debido al incremento en la unión de flujo de la armadura 204, 304. Además, debido al recipiente de vacío 306 con la pared interior 322 más delgada en comparación con la pared exterior 324 del mismo, se pueden compensar las cargas/fuerzas estructurales que actúan dentro y fuera del generador superconductor 114, 200, reduciendo de este modo las vibraciones del generador superconductor 114, 200. Además, debido a la disposición mejorada del campo estacionario 202, 302 y la armadura 204, 304, se pueden relajar las tolerancias de diseño/fabricación durante un montaje del generador superconductor 114, 200.

25 **[0034]** Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo los modos de realización preferentes, y también para permitir que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistemas y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención se define por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica, que comprende:
 - 5 un rotor (104) que comprende una pluralidad de palas;
 - un eje (116) acoplado al rotor; y
 - 10 un generador superconductor (114, 200) acoplado al rotor (104) por medio del eje (116), en la que el generador superconductor (114, 200) comprende:
 - una armadura (204, 304) que comprende un devanado de armadura (320) y configurada para rotar por medio del eje (116); y
 - 15 un campo estacionario (202, 302) que comprende un devanado de campo superconductor (208, 308) y dispuesto concéntrico a y radialmente hacia afuera de la armadura, caracterizada por que la armadura (204, 304) y el campo estacionario (202, 302) están configurados para reducir un espacio magnético entre el devanado de campo superconductor (208, 308) y el devanado de armadura (320) durante la operación del generador superconductor (114, 200).
2. La turbina eólica de la reivindicación 1, en la que el campo estacionario (202, 302) comprende un recipiente de vacío (306) que comprende una pared interior y una pared exterior, en la que la pared interior es más fina que la pared exterior y se orienta hacia la armadura (204, 304).
- 25 3. La turbina eólica de la reivindicación 2, en la que el devanado de campo superconductor (208, 308) está dispuesto dentro del recipiente de vacío (306).
4. La turbina eólica de la reivindicación 3, en la que el devanado de campo superconductor (208, 308) está configurado para generar un campo magnético orientado en una dirección radial del generador superconductor (202, 302).
- 30 5. La turbina eólica de la reivindicación 3, en la que el campo estacionario comprende además un escudo térmico (316) dispuesto dentro del recipiente de vacío y que encierra el devanado de campo superconductor (208, 308).
- 35 6. La turbina eólica de la reivindicación 3, en la que el campo estacionario (202, 302) comprende además una o más estructuras de transferencia de par de torsión (318) dispuestas dentro del recipiente de vacío (306) para soportar un par de torsión de reacción provocado debido a una interacción entre un campo magnético producido por la armadura (204, 304) y un campo magnético producido por el devanado de campo superconductor (208, 308).
- 40 7. La turbina eólica de la reivindicación 3, en la que el campo estacionario (202, 302) comprende además un aparato de enfriamiento (314) configurado para mantener el devanado de campo superconductor (208, 308) a una temperatura criogénica.
- 45 8. La turbina eólica de la reivindicación 7, en la que el campo estacionario (202, 302) comprende además uno o más depósitos para almacenar un fluido de enfriamiento, en la que uno o más depósitos se disponen dentro del recipiente de vacío y en comunicación fluida con el aparato de enfriamiento.
- 50 9. La turbina eólica de la reivindicación 8, en la que el campo estacionario (202, 302) comprende además uno o más conductos acoplados de manera fluida al uno o más depósitos y dispuestos dentro del recipiente de vacío, en la que el uno o más conductos se configuran para facilitar el flujo del fluido de enfriamiento dentro del campo estacionario.
- 55 10. La turbina eólica de la reivindicación 3, en la que el campo estacionario (202, 302) está configurado para encogerse hasta un 1 por ciento durante la operación de la turbina eólica, lo que da como resultado una reducción en el espacio magnético entre el devanado de campo superconductor (208, 308) y el devanado de armadura (320).
- 60 11. La turbina eólica de la reivindicación 3, en la que la armadura (204, 304) está configurado para expandirse durante la operación de la turbina eólica, lo que da como resultado una reducción en el espacio magnético entre el devanado de campo superconductor (208, 308) y el devanado de armadura (320).
- 65 12. La turbina eólica de la reivindicación 4, en la que un radio interior del campo estacionario (202, 302) es de 4 metros y en la que el campo estacionario (202, 302) se configura para encogerse, la armadura (204, 304) está configurada para expandirse, o una combinación de los mismos, de modo que se reduce un espacio magnético

entre el devanado de campo superconductor (208, 308) y el devanado de armadura (320) de 45 milímetros a 5 milímetros.

- 5 13. La turbina eólica de la reivindicación 12, en la que el campo estacionario (202, 302) se configura para encogerse de modo que el radio interior del campo estacionario (202, 302) se reduce en 20 milímetros.
14. Un procedimiento que comprende:
- 10 operar una turbina eólica que tiene un generador superconductor que comprende una armadura que tiene un devanado de armadura y un campo estacionario que tiene un devanado de campo superconductor, estando dispuesto el campo estacionario concéntrico a y radialmente hacia afuera de la armadura,
- caracterizado por que el procedimiento comprende además:
- 15 reducir un espacio magnético entre el devanado de campo superconductor y el devanado de armadura durante la operación del generador superconductor.
- 20 15. El procedimiento de la reivindicación 14, en el que operar la turbina eólica comprende impartir rotaciones a la armadura del generador superconductor por medio de un rotor de la turbina eólica; y/o
- en el que operar la turbina eólica comprende enfriar el devanado de campo superconductor a una temperatura criogénica por medio de un aparato de enfriamiento; y/o
- 25 en el que el espacio magnético se reduce debido a una contracción del campo estacionario, una expansión de la armadura o una combinación de ambas.

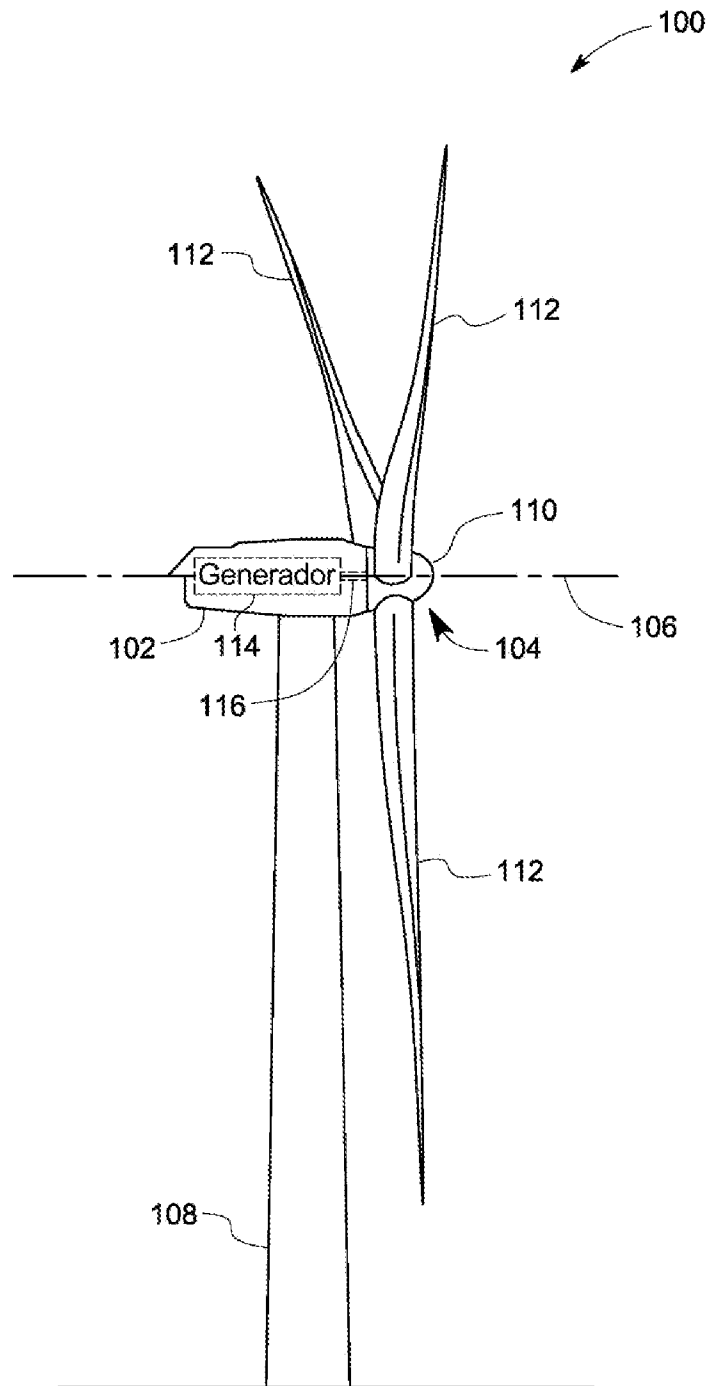


FIG. 1

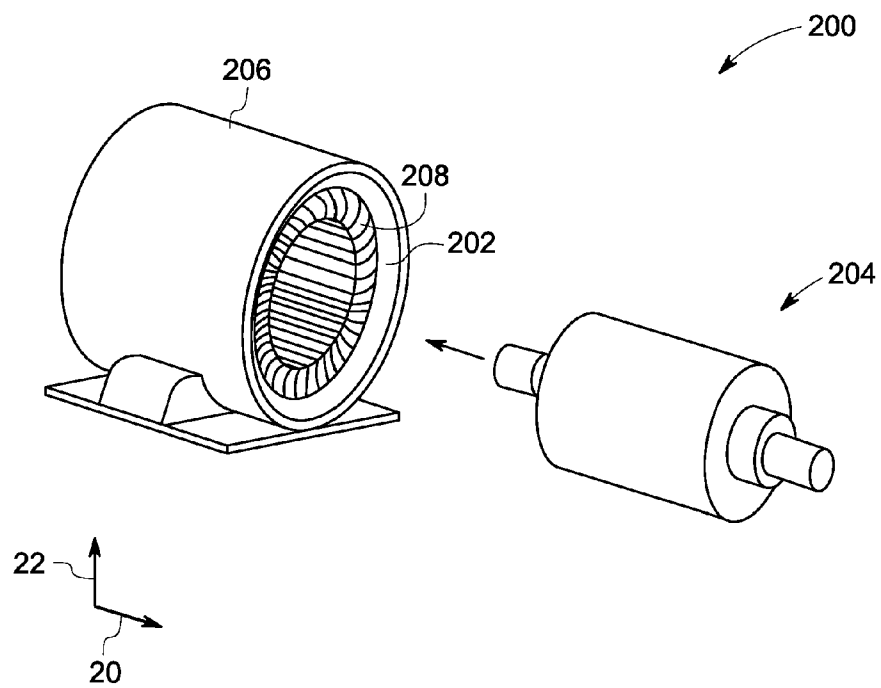


FIG. 2

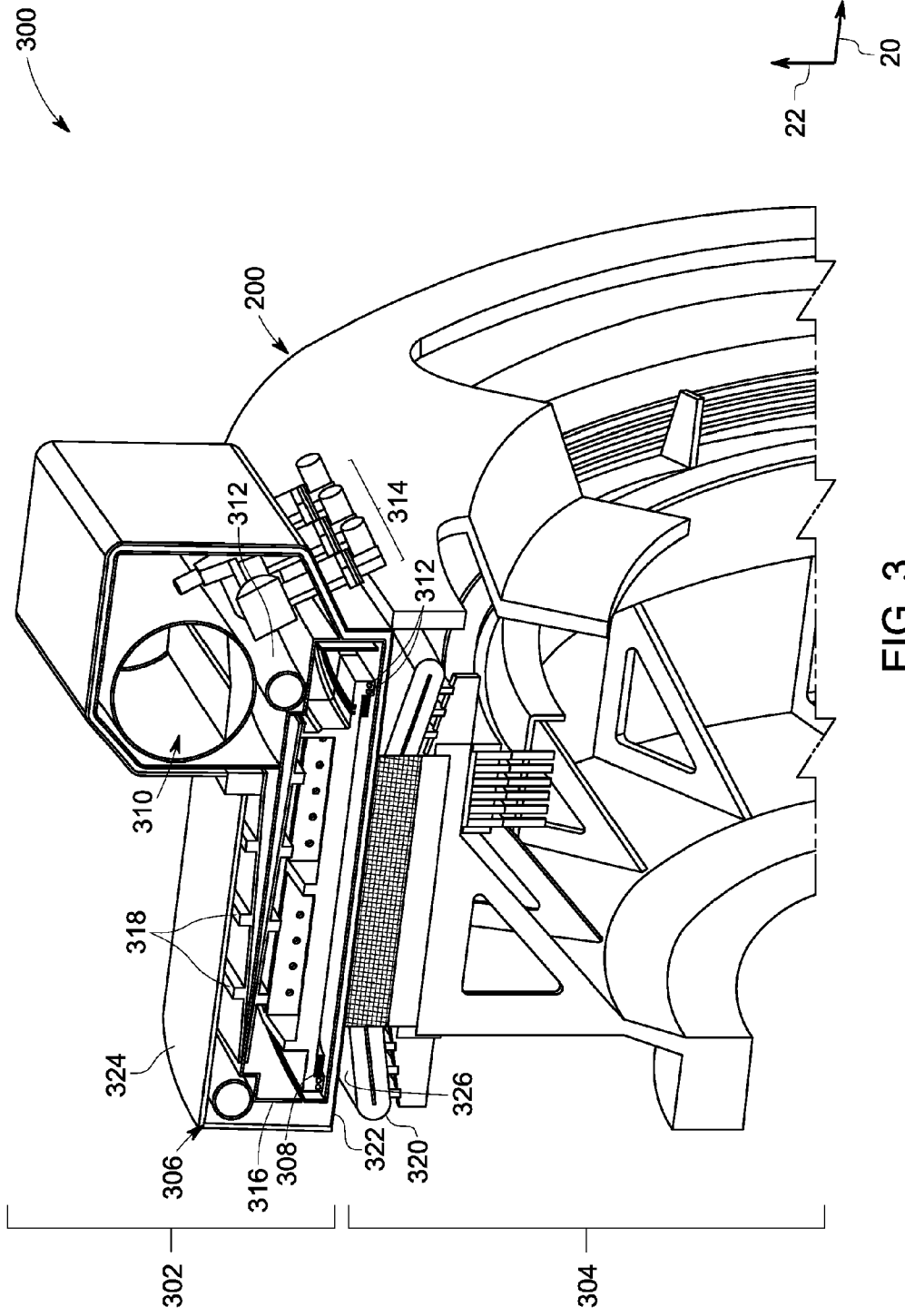


FIG. 3

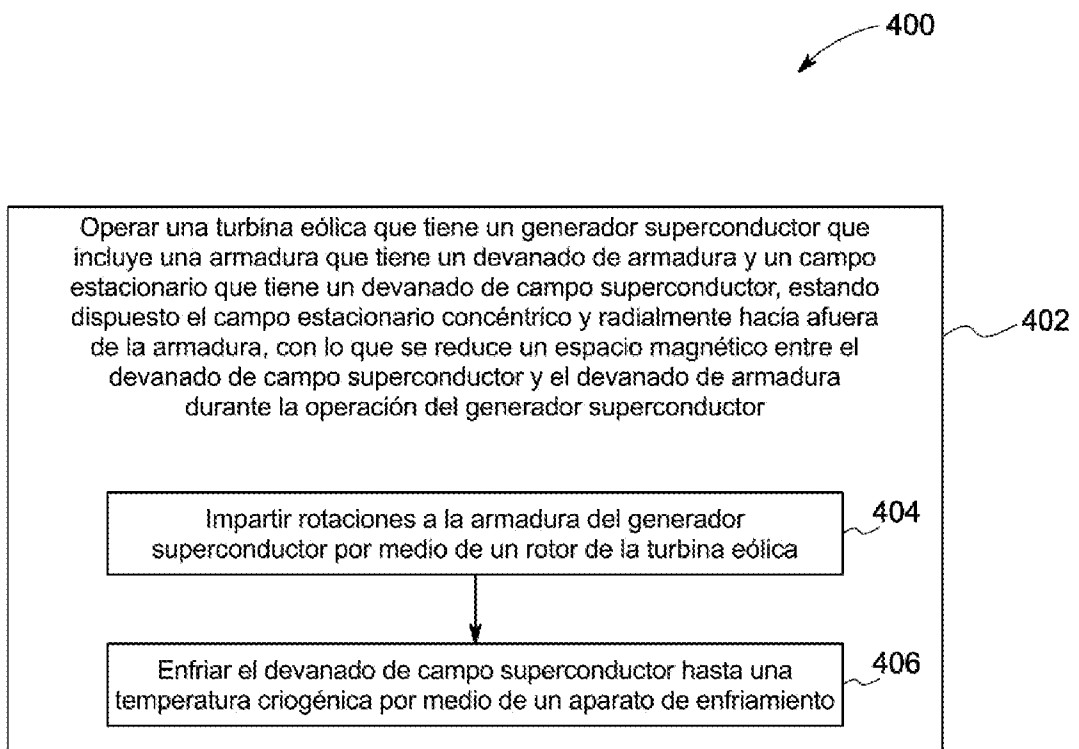


FIG. 4