

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 478 680**

51 Int. Cl.:

**H01L 39/02** (2006.01)

**H01L 39/14** (2006.01)

**H01F 6/06** (2006.01)

**H02K 55/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.01.2009 E 09150108 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.06.2014 EP 2081239**

54 Título: **Hilo superconductor y máquina eléctrica que utiliza dicho hilo**

30 Prioridad:

**17.01.2008 US 15817**

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

**22.07.2014**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)  
1 River Road  
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**BRAY, JAMES WILLIAM;  
LASKARIS, EVANGELOS TRIFON y  
SIVASUBRAMANIAM, KIRUBA**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 478 680 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**

Hilo superconductor y máquina eléctrica que utiliza dicho hilo

La presente divulgación versa, en general, sobre un hilo superconductor, procedimientos de fabricación y usos del mismo en componentes electrónicos.

5 Las máquinas rotatorias normales superconductoras (SC) tales como motores y generadores eléctricos comprenden una bobina inductora superconductora y devanados no superconductores de inducido situados, por ejemplo, en un  
 10 estátor estacionario. Cuando se le suministra una tensión, la bobina inductora genera un campo magnético que acopla la bobina inductora y los devanados del inducido. La magnitud del campo magnético de acoplamiento se determina por la cantidad de corriente que pasa a través de la bobina inductora y, en menor grado, por la corriente  
 del inducido de reacción a la carga. El esfuerzo magnético dentro de la máquina se traduce en par, que da como resultado la rotación del rotor. Cuanto mayor sea el campo magnético, mayores serán el par por rotación para una  
 circunferencia dada de los devanados del inducido y el área superficial del entrehierro. Aunque los devanados del inducido también pueden ser superconductores, habitualmente están formados de material no SC, tal como cobre.

15 En los hilos superconductores (SC) comerciales establecidos, tales como de NbTi o Nb<sub>3</sub>Sn, la capacidad de transporte de corriente es una función de la corriente crítica I<sub>c</sub>, la corriente con la que el material tiene una transición de fase de una fase superconductora a una fase no superconductora. I<sub>c</sub> es una función decreciente de la  
 temperatura T y el campo magnético H. Estos hilos SC también difieren en precio y coste de fabricación; por ejemplo, el NbTi tiene un precio y un coste de fabricación menores, pero también una I<sub>c</sub> menor que el Nb<sub>3</sub>Sn. Los  
 20 superconductores también tienen una transición de la fase superconductora a la no superconductora a una temperatura de transición T<sub>c</sub> y con un campo crítico H<sub>c</sub>, y se sigue que debe operarse con ellos por debajo de esta temperatura y de este campo.

25 En las bobinas SC de campo, como las usadas en motores y generadores eléctricos SC, el campo magnético H varía con la ubicación en la bobina inductora, siendo habitualmente mayor en las partes internas de la bobina, tal como en la superficie o diámetro internos de un solenoide. En el presente documento se denomina a la parte interna de la bobina inductora zona de campo intenso y a la parte externa de la bobina, tal como la superficie externa de un solenoide, se la denomina zona de campo débil. Un inconveniente de los materiales SC usados para fabricar bobinas inductoras es que algunos son más tolerantes del campo magnético que otros. Los materiales menos tolerantes también toleran una corriente menor, lo que se traduce en intensidades menores del campo magnético y en menos para por peso dado de material SC.

30 Se conocen, por los documentos EP 806 801 A2, US 6 531 233 B1, o IEEE Transactions on Magnetics, vol. 25, nº 2, pp. 1767-1770, componentes de hilo superconductor que comprende segmentos de hilo de NbTi y Nb<sub>3</sub>Sn unidos de una u otra forma.

35 Una necesidad permanente de los motores superconductores giratorios es la reducción del tamaño y el peso de las máquinas; es decir, aumentar la densidad de par para una circunferencia dada de la bobina inductora y los devanados del inducido. Los beneficios prácticos de la miniaturización mediante componentes eléctricos más tolerantes a los campos en estas y otras máquinas incluyen, entre otros menores costes de fabricación. Esta divulgación aborda la necesidad de componentes más tolerantes a los campos.

En el presente documento se dan a conocer hilos superconductores graduados funcionalmente para componentes eléctricos tales como, por ejemplo, bobinas inductora superconductoras para motores y generadores.

40 En una realización de la presente invención, un componente eléctrico comprende un hilo superconductor según la reivindicación 1.

En otra realización de la presente invención, una máquina comprende dicho componente eléctrico.

Otras características y ventajas serán o se volverán evidentes para un experto en la técnica tras el estudio de los dibujos y la descripción detallada siguientes.

45 En los dibujos, números de referencia semejantes designan partes correspondientes en las varias vistas, en las cuales:

- la FIG. 1 es un esquema de un hilo superconductor graduado funcionalmente para un componente eléctrico;
- la FIG. 2 es una sección transversal esquemática de un segmento ejemplar de hilo que comprende varios filamentos superconductores;
- la FIG. 3 es una vista en sección transversal de una máquina ejemplar que tiene un árbol giratorio y un estátor;
- la FIG. 4 es una vista en perspectiva de un estátor ejemplar que muestra una bobina inductora en el estátor interno;

la FIG. 5 es una vista en planta de una realización ejemplar de un segmento de rotor para la máquina mostrada en la FIG. 3;

la FIG. 6 es una vista en perspectiva del estátor montado de la FIG. 4; y

la FIG. 7 es un esquema de una bobina inductora superconductora que comprende un hilo superconductor que tiene dos segmentos de hilo.

5

En el presente documento se dan a conocer hilos superconductores graduados funcionalmente para componentes eléctricos de equipos de potencia tales como motores y generadores y otras máquinas eléctricas. Los hilos superconductores comprenden n segmentos de hilo unidos por n-1 uniones, siendo n un entero mayor o igual que 2. La graduación funcional se refiere a segmentos adyacentes de hilo que tienen propiedades diferentes con respecto a al menos una de tolerancia a los campos magnéticos, tolerancia a la temperatura, pérdida de CA y tolerancia a la deformación. El hilo superconductor graduado funcionalmente (en el presente documento, "hilo superconductor") puede mejorar, por ejemplo, la capacidad del campo magnético de un componente eléctrico tal como una bobina inductora superconductora de un motor o un generador, permitiéndole operar con mayor corriente y generar mayor deformación magnética, y producir ventajosamente mayor par por rotación de una circunferencia dada de los devanados del inducido y por área superficial del entrehierro en comparación con una bobina inductora superconductora que comprenda un hilo no graduado funcionalmente.

10

15

En una realización, un componente eléctrico comprende un hilo superconductor, comprendiendo el hilo un primer segmento de hilo unido a un segundo segmento de hilo; difiriendo el primer segmento de hilo y el segundo segmento de hilo en al menos una propiedad seleccionada del grupo consistente en tolerancia a los campos magnéticos, tolerancia a la temperatura, pérdida de CA y tolerancia a la deformación, midiéndose la tolerancia a los campos magnéticos por la relación entre la corriente crítica  $I_c$  y el campo magnético H a una temperatura dada T inferior a la temperatura crítica  $T_c$ , midiéndose la tolerancia a la temperatura por la relación entre la corriente crítica  $I_c$  y la temperatura T en un campo magnético dado inferior al campo magnético crítico  $H_c$ , midiéndose la pérdida de CA por la cantidad de pérdida de CA en función de la frecuencia y la magnitud de las corrientes de CA y los campos aplicados, y midiéndose la tolerancia a la deformación por la degradación de la corriente crítica  $I_c$  con la deformación.

20

25

En una realización, los segmentos primero y segundo de hilo están formados de diferentes composiciones superconductoras. En una realización, el hilo superconductor comprende al menos un segmento adicional de hilo unido al segundo segmento de hilo; difiriendo los segmentos adyacentes de hilo en al menos una de las propiedades mencionadas anteriormente. En una realización, el componente eléctrico comprende varias capas adyacentes o tramos del hilo superconductor. En una realización, el componente eléctrico es un cable o una bobina.

30

La FIG. 1 ilustra un hilo superconductor 10 en el que n es igual a 2, que comprende un primer segmento 12 de hilo, un segundo segmento 14 de hilo, y una unión 16 que enlaza el primer segmento 12 de hilo al segundo segmento 14 de hilo. El hilo superconductor puede comprender un número cualquiera de segmentos de hilo, con la condición de que los segmentos adyacentes de hilo difieran en al menos una de tolerancia a los campos magnéticos, tolerancia a la temperatura, pérdida de CA y tolerancia a la deformación, y el rendimiento del hilo superconductor no se ve adversamente afectado por los segmentos de hilo adicionales. Los segmentos adyacentes pueden tener diferentes composiciones superconductoras, o comprender diferentes morfologías de la misma composición que expresen diferente comportamiento de  $I_c(H)$ .

35

La FIG. 2 es un esquema que representa una vista en sección transversal de un segmento ejemplar 40 de hilo. El segmento 40 de hilo incluye al menos un filamento superconductor 42 que comprende una composición superconductora. Aunque en la FIG. 2 se representan siete filamentos 42 tales, no hay ningún límite en cuanto al número de filamentos 42 contenidos dentro del segmento 40 de hilo. En una realización mostradas en la FIG. 2, al menos una porción de los filamentos está encapsulada en una matriz metálica 44, que facilita el establecimiento de un tramo continuo de filamento superconductor.

40

45

Las composiciones superconductoras incluyen NbTi y Nb<sub>3</sub>Sn.

Además, las composiciones superconductoras comprenden dopantes. Los dopantes, además de proporcionar soporte a la fase metálica, pueden ser incorporados con fines de cambiar configuraciones o la separación de la red y/o mejorar las propiedades superconductoras. Dependiendo de la composición química de la primera fase superconductora, los dopantes útiles que pueden añadirse incluyen cobre, oro, plata, magnesio, cinc, plomo, hierro, cadmio, estaño, bismuto, galio, mercurio e indio o una combinación que comprenda al menos uno de los anteriores dopantes.

50

Con independencia de los otros componentes presentes en la composición superconductora, la composición superconductora tiene una fase superconductora en una fracción de volumen efectiva para proporcionar superconductividad a una temperatura crítica operativa. En una realización, la fase superconductora puede ocupar un volumen mayor o igual que aproximadamente el 19 por ciento en volumen de la composición superconductora total. Generalmente, se prefiere que la fracción de volumen de la primera fase superconductora esté presente en una cantidad mayor o igual que aproximadamente el 25%, más en particular mayor o igual que aproximadamente el

55

35%, aún más en particular mayor o igual que aproximadamente el 50% y aún más en particular mayor o igual que aproximadamente el 75 por ciento en volumen de la composición superconductora total.

5 Un segmento de hilo comprende al menos un filamento superconductor que tiene una dimensión característica de filamento en la que el filamento es continuo. El material 44 de matriz metálica que rodea el filamento superconductor puede ser no conductor eléctricamente o conductor a temperatura ambiente y temperaturas criogénicas (es decir, por debajo de aproximadamente 77°K). Para evitar la rotura del segmento 40 de hilo durante el paso cíclico entre la temperatura ambiente y las temperaturas criogénicas, la matriz metálica 44 tiene un coeficiente de dilatación térmica que es sustancialmente igual o mayor que el de la composición superconductora.

10 La matriz metálica puede ser un tubo, un lingote y similares, que tengan agujeros en los que pueden depositarse la composición superconductora o bien los precursores de la composición superconductora (tales como Nb y Ti o Sn, o magnesio y boro). En una realización opcional, la matriz metálica comprende cobre o una aleación de cobre. Se dispone una segunda capa metálica entre la composición superconductora y el cobre. La segunda capa metálica es una capa barrera o bien una capa de alta resistividad. En una realización, se selecciona la capa barrera del grupo consistente en tantalio, niobio, níquel, aleaciones de níquel, hierro, wolframio, molibdeno y combinaciones de los  
15 mismos. En otra realización, se selecciona la capa de resistividad del grupo consistente en cobalto, manganeso, una aleación de níquel-titanio o una aleación de níquel-circonio.

20 Si el tubo tiene más de un agujero, es generalmente deseable que los agujeros tengan el mismo radio medio. Sin embargo, los radios de los agujeros individuales no siempre tienen que ser iguales entre sí. Además, los agujeros pueden tener cualquier geometría deseada. Por ejemplo, aunque la sección transversal geométrica de un agujero sea circular, la otra puede ser elíptica, etcétera. La relación entre el radio de un agujero cualquiera y el radio del tubo puede estar entre aproximadamente 0,1 y aproximadamente 0,99. En este intervalo, es deseable una relación mayor o igual que aproximadamente 0,15, más en particular mayor o igual que aproximadamente 0,2 y aún más en particular mayor o igual que aproximadamente 0,25.

25 Pueden fabricarse filamentos que tengan la composición superconductora mediante varios procedimientos diferentes. En un procedimiento ejemplar de fabricación de la composición superconductora en forma de hilo, el tubo metálico que tiene al menos un agujero cilíndrico en toda su longitud se llena con la composición superconductora y luego es sometido a un procedimiento de deformación para reducir el área de la sección transversal del tubo, así como para aumentar su longitud. En una realización ejemplar, la composición superconductora comprende NbTi o Nb<sub>3</sub>Sn. El tubo metálico puede tener un número cualquiera de agujeros que no se crucen que se extiendan desde un  
30 primer extremo del tubo hasta el segundo extremo del tubo y al menos uno de estos agujeros se rellena de la composición superconductora antes del procedimiento de alargamiento. El primer extremo y el segundo extremo del tubo están situados cada uno en una sección transversal diametral del tubo. Es generalmente deseable que las partículas que constituyen la composición superconductora estén en comunicación eléctrica con al menos otra partícula del polvo antes del procedimiento de deformación.

35 A continuación, se sella el tubo metálico que contiene la composición superconductora antes de la deformación. La deformación puede implicar procedimientos tales como la extrusión, el forjado, el enrollamiento, la estampación, el estirado y similares, así como combinaciones que comprenden al menos uno de los anteriores procedimientos. La deformación se lleva a cabo para extender la longitud del tubo y reducir el área de la sección transversal. Es generalmente deseable que el cambio en la longitud por el procedimiento de deformación sea mayor o igual que  
40 aproximadamente el 5% con respecto a la longitud original del tubo. En general, es deseable un cambio en longitud mayor o igual que aproximadamente el 10%, más en particular mayor o igual que aproximadamente el 50% y aún más en particular mayor o igual que aproximadamente el 100% de la longitud original. Generalmente, la deformación del tubo se lleva a cabo de tal forma que permita que las partículas de la composición superconductora del agujero estén en comunicación eléctrica continua entre sí para formar el filamento 110.

45 Generalmente, el tubo es deformado para formar un hilo superconductor que tenga un área de sección transversal entre aproximadamente 0,1 mm<sup>2</sup> y aproximadamente 5 mm<sup>2</sup>. En este intervalo pueden usarse áreas de sección transversal mayor o igual que aproximadamente 0,2 mm<sup>2</sup>, más en particular mayor o igual que aproximadamente 0,3 mm<sup>2</sup>, y aún más en particular mayor o igual que aproximadamente 0,5 mm<sup>2</sup>. También son deseables en este  
50 intervalo áreas de sección menores o iguales que aproximadamente 4,5 mm<sup>2</sup>, más en particular menores o iguales que aproximadamente 4,2 mm<sup>2</sup>, y aún más en particular menores o iguales que aproximadamente 3,5 mm<sup>2</sup>. En general, la matriz metálica comprende entre aproximadamente el 20% y aproximadamente el 80% del área de sección transversal del segmento de hilo. En este intervalo, la matriz metálica puede comprender áreas de sección transversal mayores o iguales que aproximadamente el 25%, más en particular mayores o iguales que  
55 aproximadamente el 30% y aún más en particular mayores o iguales que aproximadamente el 35% del hilo superconductor. La matriz metálica también puede comprender un área de sección transversal menor o igual que aproximadamente el 75%, más en particular menor o igual que aproximadamente el 70% y aún más en particular menor o igual que aproximadamente el 65% del segmento de hilo. Además, si se desea, el segmento de hilo puede ser aplanado en forma de cinta o de película.

Tras el procedimiento de deformación, el segmento de hilo, la cinta o la película puede recibir un tratamiento térmico para mejorar las propiedades superconductoras y/o las propiedades mecánicas. El procedimiento de tratamiento térmico implica calentar el segmento de hilo hasta una temperatura mayor o igual que aproximadamente 600°C, más en particular mayor o igual que aproximadamente 800°C, y aún más en particular mayor o igual que aproximadamente 900°C. El periodo de tiempo para el tratamiento térmico está entre aproximadamente 1 y aproximadamente 6 horas. Más en particular, el periodo para el tratamiento térmico es mayor o igual que aproximadamente 2 horas. En general, tras enfriar, el segmento de hilo proporciona la composición superconductora resultante con la estructura efectiva para mostrar las propiedades superconductoras.

En otro procedimiento ejemplar de fabricación, el segmento de hilo que comprende un tubo metálico que tiene al menos un agujero se rellena de materiales usados para crear una composición superconductora junto con cualquier dopante deseado. Dopantes ejemplares incluyen cobre, oro, plata, magnesio, cinc, plomo, cadmio, estaño, bismuto, galio, mercurio e indio o combinaciones que comprendan al menos uno de los anteriores metales. A continuación, se sella el tubo y se lo somete a deformación, según se ha hecho notar más arriba. Acto seguido, el segmento de hilo es tratado térmicamente hasta temperaturas mayores o igual que aproximadamente 700°C para producir la composición superconductora en el segmento de hilo. Según se ha hecho notar más arriba, el segmento de hilo puede ser estirado, dándole forma de película, cinta o similares.

En otro nuevo procedimiento ejemplar de fabricación, el segmento de hilo, un tubo metálico en forma de lingote que tiene al menos un agujero es rellenado con varillas, microgránulos, polvo, partículas, escamas, y similares, de magnesio. También pueden añadirse dopantes como los enumerados más arriba en el agujero junto con las varillas, los microgránulos, el polvo, las partículas, las escamas y similares de los materiales usados para fabricar la composición superconductora. El tubo metálico puede ser un metal que no forme un complejo tras la exposición a un dopante. Además, el tubo metálico puede ser un metal que permita la difusión del dopante a través de él en un periodo de tiempo razonable. Ejemplos adecuados del metal usado en el tubo (lingote) metálico para esta manera de fabricación del segmento de hilo son una aleación de cobre, una aleación de acero inoxidable, tantalio, magnesio o una dispersión de óxidos reforzada con aleaciones de cobre y níquel.

A continuación, se sella el tubo metálico y se lo somete a deformación para producir un segmento de hilo que tiene un área de sección transversal reducida y una mayor longitud. Es deseable que el metal exista en forma de filamento continuo que tenga una longitud igual a la del segmento de hilo. Esto permite la formación de un filamento que tiene una composición superconductora en toda la longitud del segmento de hilo tras la exposición del segmento de hilo a un dopante.

Para formar la composición superconductora, el segmento de hilo que contiene el filamento es puesto en contacto con el dopante para permitir la difusión del dopante en el metal y, finalmente, tras el tratamiento térmico del segmento de hilo, para formar una composición superconductora. Es generalmente deseable que el segmento de hilo tenga la capacidad de conducir continuamente electricidad desde un primer extremo hasta el segundo extremo y también que la longitud del filamento superconductor sea al menos igual o mayor que la distancia desde el primer extremo hasta el segundo extremo del segmento de hilo. En otra realización adicional, puede combinarse cualquiera de los procedimientos antes mencionados de preparación del segmento de hilo ya sea para producir el segmento de hilo o para mejorar sus propiedades.

Cada segmento de hilo del hilo superconductor puede ser de cualquier longitud deseada. Más en particular, los segmentos de hilo tienen una longitud entre aproximadamente 1 metro y aproximadamente 1000 metros. En este intervalo es generalmente deseable contar con una longitud mayor o igual que aproximadamente 2 metros, más en particular mayor o igual que aproximadamente 5 metros y aún más en particular mayor o igual que aproximadamente 8 metros. También deseable en este intervalo es una longitud menor o igual que aproximadamente 900 metros, más en particular menor o igual que aproximadamente 800 metros y aún más en particular menor o igual que aproximadamente 500 metros.

Tras la fabricación de un segmento de hilo, los segmentos de hilo pueden ser unidos mediante soldaduras o soldadura por difusión para producir un tramo continuo de hilo superconductor que tiene una longitud al menos igual a la suma de las longitudes de cada uno de los segmentos de hilo. En una realización, la unión de un primer segmento de hilo a un segundo segmento de hilo produce un hilo superconductor que tiene una longitud mayor o igual que la longitud del primer segmento de hilo o la longitud del segundo segmento de hilo.

La soldadura por difusión es un procedimiento de fase sólida logrado mediante migración atómica sin ninguna macrodeformación de las porciones de los segmentos de hilo que han de unirse. Es deseable la limpieza inicial de los segmentos de hilo. Son deseables valores de rugosidad superficial inferiores a 0,4 micrómetros, y las muestras pueden ser limpiadas en acetona u otro disolvente antes de la unión. Puede usarse presión si se desea para efectuar la soldadura por difusión.

La unión puede implicar poner en contacto un primer extremo de un primer segmento de hilo con un segundo extremo de un segundo segmento de hilo; calentar el primer extremo del primer segmento de hilo con el segundo extremo del segundo segmento de hilo en un punto para formar un solo hilo en el que el filamento superconductor que tiene la composición superconductora está en contacto eléctrico continuo con cualquier otra parte del filamento

superconductor. El punto en el que los dos hilos son calentados puede ser un solo punto o puede ser una sección en la que los dos hilos se solapan. La unión puede ser una soldadura por puntos o una soldadura a tope, o cualquier otro tipo de soldadura deseado. En una realización, la soldadura se forma durante el procedimiento de devanado de fabricación de la bobina inductora.

- 5 Generalmente se desea unir los segmentos de hilo de una manera efectiva para contar con al menos un filamento superconductor eléctricamente continuo de una longitud mayor o igual que la longitud de los segmentos de hilo unidos.

10 Generalmente, la unión se lleva a cabo usando al menos una fuente de energía, tal como la energía proporcionada por un haz de luz, dirigiéndose la energía proporcionada por la fuente a aquellas porciones de la composición superconductor que han de unirse entre sí. La interacción de la energía con la composición superconductor facilita el calentamiento de la composición, y este aumento de la temperatura puede ser utilizado ventajosamente para facilitar la unión de la composición superconductor. Los procedimientos preferentes de unión son la soldadura por haz de electrones, la soldadura láser, la soldadura ultrasónica, la soldadura por arco de plasma, la soldadura por resistencia y similares.

15 En el procedimiento de unión de un segmento de hilo que tenga una matriz metálica, puede eliminarse en primer lugar la matriz metálica para dejar al descubierto la composición superconductor en los segmentos de hilo que han de unirse. La matriz metálica puede eliminarse mediante procedimientos tales como el decapado químico, la abrasión mecánica tal como el pulido y el amolado, tratamientos térmicos tales como la fusión de degradación o similares, o combinaciones que comprenden al menos uno de los anteriores procedimientos. Opcionalmente, tras la  
20 eliminación de la matriz metálica, los extremos del hilo superconductor dejados al descubierto pueden ser limpiados con un disolvente si se desea. La porción al descubierto del filamento superconductor es entonces calentada poniéndola en contacto con una fuente de energía tal como un haz de electrones, un haz de láser, un arco de plasma, calentamiento por resistencia y similares. Las porciones calentadas de los filamentos superconductores son unidos entre sí y enfriados, formando una soldadura. En un procedimiento de unión, los filamentos superconductores  
25 calentados se unen entre sí bajo presión. En otro procedimiento de unión, la unión se lleva a cabo generalmente en una atmósfera inerte para evitar la oxidación de la composición superconductor en los filamentos superconductores.

30 En otro procedimiento de unión, una vez que se elimina la matriz metálica de los extremos del hilo superconductor que ha de unirse, se juntan entre sí los dos extremos para formar una sección solapada. Puede ponerse un material de carga o un dopante en la sección solapada. Acto seguido, puede unirse la sección solapada usando uno de los procedimientos de unión mencionados anteriormente para formar una sección continua del filamento superconductor.

35 En otro procedimiento adicional de unión, se calienta por resistencia la sección solapada que comprende los extremos al descubierto de los filamentos superconductores junto con un material de carga, por ejemplo NbTi o Nb<sub>3</sub>Sn en polvo. El calentamiento promueve una reacción química entre el material de carga y el filamento sustrato. Puede usarse el material de carga para facilitar la unión de los segmentos de filamento superconductor.

40 En un procedimiento de unión, la unión ocurre generalmente a una temperatura entre aproximadamente 650°C y aproximadamente 1000°C. En este intervalo, puede usarse una temperatura mayor o igual que aproximadamente 700°C, más en particular mayor o igual que aproximadamente 725°C., y aún más en particular 750°C. También son deseables temperaturas menores o iguales que aproximadamente 950°C, más en particular menores o iguales que  
45 aproximadamente 900°C, y aún más en particular menores o iguales que aproximadamente 875°C. Una temperatura ejemplar está entre aproximadamente 795°C y aproximadamente 850°C.

45 También se dan a conocer máquinas eléctricas que comprenden un componente eléctrico que comprende un hilo superconductor, comprendiendo el hilo n segmentos de hilo unidos por n-1 uniones; siendo n un entero mayor o igual que 2; y difiriendo los segmentos adyacentes de hilo en al menos una propiedad seleccionada del grupo consistente en tolerancia a los campos magnéticos, tolerancia a la temperatura, pérdida de CA y tolerancia a la deformación; midiéndose la tolerancia a los campos magnéticos por la relación entre la corriente crítica I<sub>c</sub> y el campo magnético H a una temperatura dada T inferior a la temperatura crítica T<sub>c</sub>, midiéndose la tolerancia a la temperatura por la relación entre la corriente crítica I<sub>c</sub> y la temperatura T en un campo magnético dado inferior al campo magnético crítico H<sub>c</sub>, midiéndose la pérdida de CA por la cantidad de pérdida de CA en función de la frecuencia y la magnitud de las corrientes de CA y los campos aplicados, y midiéndose la tolerancia a la deformación por la degradación de la corriente crítica I<sub>c</sub> con la deformación.

50 La FIG. 3 es una vista esquemática en sección transversal de un ejemplo no limitante de una máquina 100 que comprende un componente eléctrico en forma de bobina inductora que comprende un hilo superconductor. La máquina 100 puede operar como un motor y/o como un generador, según se desee. La máquina 100 incluye un conjunto rotor 110 que tiene un par de segmentos 106, 108 de rotor montados en un árbol 120. El árbol 120 puede estar formado de cualquier material, más en particular de un material no ferromagnético, tal como el acero inoxidable. Los segmentos 106, 108 de rotor están adaptados para rotar mientras el árbol gira en torno a su eje  
55

longitudinal 130 y están separados entre sí axialmente a lo largo del árbol 120. Cada segmento 106, 108 de rotor incluye varios polos salientes, tales como los polos 112 de hierro y varios polos 114 de entrehierro.

5 El conjunto rotor 110 está sustancialmente encerrado en un alojamiento estacionario 140. El alojamiento 140 soporta giratoriamente el conjunto rotor 110. El alojamiento 140 es de configuración sustancialmente cilíndrica. Un conjunto 150 de estatores también está soportado dentro del alojamiento 140 y es estacionario con respecto al alojamiento 140. El conjunto 150 de estatores incluye un estátor 160 que tiene devanados de estátor (no mostrados) y una bobina estacionaria 170 inductora que comprende el hilo superconductor graduado funcionalmente. En particular, la bobina 170 inductora está montada en el estátor 160.

10 La bobina 170 inductora está mecánicamente desacoplada del conjunto rotor 110. La bobina 170 inductora, cuando está enfriada a temperaturas de superconducción, tiene una resistencia sustancialmente igual a cero al flujo de corriente eléctrica. La bobina 170 inductora y los polos salientes 112 están configurados entre sí de tal modo que se produce un campo magnético giratorio con un flujo del entrehierro sustancialmente axial cuando los segmentos 106, 108 de rotor giran con respecto al estátor 160 en torno de un eje predeterminado. En una realización preferente en la que los segmentos de rotor están montados en el árbol 120, la dirección del flujo del entrehierro es sustancialmente  
15 paralela al eje longitudinal 130 del árbol 120.

Así, el rotor y el estátor están descentrados axialmente con la bobina inductora, que es estacionaria con respecto al estátor. Los polos del rotor está formados sobre una superficie planaria que es sustancialmente perpendicular al eje de rotación del rotor. Además, la bobina inductora superconductor está situada en un plano que está descentrado axialmente del plano de los polos del rotor. Con la rotación del rotor atravesando un campo magnético generado por la bobina inductora, se produce un campo magnético giratorio. El campo magnético giratorio tiene un flujo del entrehierro sustancialmente en la dirección axial en la zona del estátor.  
20

En operación, la máquina 100 puede operar como un generador eléctrico o como un motor. Cuando la máquina 100 opera como un generador, el árbol 120 y el conjunto rotor 110 giran en torno al eje longitudinal 130 del árbol 120. La rotación del árbol 120 y del conjunto rotor 110 puede llevarse a cabo aplicando una fuerza de torsión acoplada al árbol 120. La bobina 170 inductora está enfriada al estado superconductor a una temperatura por debajo de su temperatura de transición  $T_c$ . Cuando se suministra una corriente eléctrica a la bobina 170 inductora, actúa como una fuente de fuerza magnetomotriz (FMM) estacionaria que interactúa con una onda giratoria de permeabilidad de los polos giratorios del rotor para producir un campo magnético giratorio de CA. El campo magnético giratorio tiene un flujo del entrehierro dirigido sustancialmente de forma axial a lo largo del eje longitudinal 130 del árbol 120 y está acoplado magnéticamente con los devanados (no mostrados) del estátor (inducido), lo que permite que se genere energía eléctrica.  
25  
30

Cuando la máquina 100 opera como un motor, se proporciona corriente eléctrica a la bobina 170 inductora de la máquina 100 para generar un campo magnético giratorio que acopla la bobina 170 inductora y los devanados del estátor (inducido). Al hacerlo, aumenta la deformación magnética dentro de la máquina, que da como resultado un par en el conjunto rotor 110, haciendo que el árbol 120 gire con respecto al estátor 160.  
35

En la realización ejemplar, la bobina 170 inductora es estacionaria con respecto al alojamiento 140, mientras que el conjunto rotor 110 gira con respecto al alojamiento 140, de modo que la diferencia relativa en la velocidad rotacional entre el conjunto rotor 110 y el campo magnético generado por la bobina 170 inductora es la velocidad rotacional del rotor 110.

40 La FIG. 4 ilustra una vista tridimensional de la máquina 100 según una realización en la que el conjunto 150 de estatores comprende estatores interno 162 y externo 164. La bobina 170 inductora superconductor está montada en un sector interno 162 con forma de anillo. Un estátor externo 164 con forma de anillo está situado concéntricamente en torno del estátor interno 162, de modo que la bobina 170 esté situada entre los estatores interno 162 y externo 174. Alternativamente, la bobina 170 inductora puede montarse en el estátor 164 externo o en los estatores tanto interno como externo. Los segmentos 106 y 108 de rotor que comprenden polos salientes 112 y polos 114 de entrehierro están situados axialmente a ambos lados de los estatores 162, 164, según se muestra en la FIG. 4. Para máquinas largas pueden apilarse axialmente varias disposiciones tales de rotor/estátor a lo largo del árbol rotor 120. En la FIG. 4, en aras de la claridad, no se muestran los devanados del inducido.  
45

La FIG. 5 es una vista en planta de un segmento 200 de rotor ejemplar que se puede usar con la máquina 100 de la FIG. 3. El segmento 200 de rotor incluye una porción central 210 para acoplarse en el árbol (véase la FIG. 3). Esta porción central 210 puede estar adaptada para acomodar accesorios o adaptadores que fijen el segmento 200 de rotor al árbol. Preferentemente, el segmento 200 de rotor está formado de una base 250 discoidal que está dividida en uno o más anillos concéntricos. Preferentemente, la base 250 está dividida en varios anillos concéntricos, tal como dos anillos 220, 230. En una realización preferente, la base 250 está fabricada de un material ferromagnético para permitir que el flujo se desplace en su interior. Cada anillo está dotado de varios polos ferromagnéticos 240 separados entre sí formados en una superficie de la base 250. En una realización preferente, los polos ferromagnéticos salientes 240 están formados con planchas de hierro montadas en la superficie de la base 250. En otra realización, los polos salientes 240 está formados de hierro laminado. En otra realización adicional, los polos salientes 240 y la base 250 son de construcción unitaria.  
50  
55

El espacio entre los polos ferromagnéticos 240 forma entrehierros, o polos de entrehierro. Preferentemente, los polos ferromagnéticos 240 en anillos adyacentes están desfasados en un paso polar ya sea dentro de los anillos concéntricos o entre los mismos. Preferentemente, los polos salientes 240 y los polos de entrehierro entre los mismos tienen forma de sector anular o bien forma trapezoidal. Así, se forman varios polos en cada anillo, de modo que los polos estén separados circunferencialmente.

La FIG. 6 ilustra una vista tridimensional del conjunto 150 de estatores con devanados 166 del inducido. El conjunto 150 también incluye los extremos 168 de la bobina. Los devanados del inducido pueden ser devanados imbricados/ondulados. El conjunto 150 de estatores está adaptado para estar alojado entre un par de segmentos de rotor separados axialmente, según se ilustra en la FIG. 3. Los devanados 166 del inducido están situados entre dientes del estátor a lo largo del perímetro circunferencial a cada lado de los estatores interno y externo.

La FIG. 7 ilustra una realización de la bobina 170 inductora superconductora que comprende un hilo superconductor graduado funcionalmente que comprende dos segmentos 12 y 14 de hilo unidos entre sí por medio de la unión 16. La unión 16 puede ser generada durante el procedimiento de devanado de formación de la bobina 170 inductora. Las longitudes de los segmentos 12 y 14 de hilo dependen de las características del campo magnético y del tamaño de la bobina inductora, que pueden ser determinados fácilmente por personas con un dominio normal de la técnica. En todo caso, se seleccionan las longitudes para concentrar los devanados del segmento de hilo más tolerante a los campos en la zona de campo intenso producido por la bobina 170 inductora.

La bobina 170 inductora superconductora se mantiene a una temperatura que se aproxima a los cero grados Kelvin usando un suministro continuo de fluido criogénico, tal como, por ejemplo, sin limitación, helio (He) líquido. El fluido criogénico es suministrado normalmente a la bobina inductora superconductora desde un sistema estacionario de refrigeración criogénica. Pueden proporcionarse dispositivos de refrigeración adecuados cualesquiera, tales como tubos o conductos de fluidos de refrigeración, en el conjunto 150 de estatores para enfriar la bobina 170 inductora superconductora.

Aunque se ha usado una bobina inductora superconductora para una máquina rotatoria para ejemplificar una máquina que puede emplear de manera útil un hilo superconductor graduado funcionalmente, varios equipos de potencia adicionales también se pueden beneficiar de la graduación funcional de los hilos superconductores en sus bobinas, porque todos estos equipos pueden tener condiciones variables de campo magnético, temperatura o deformación en sus bobinas. Ejemplos de tales máquinas incluyen imanes de RMN, transformadores superconductores y motores/generadores que tienen devanados superconductores del inducido.

En otra realización, el componente eléctrico comprende un cable que comprende uno o más hilos superconductores graduados funcionalmente que comprenden dos o más segmentos de hilo unidos, difiriendo los segmentos adyacentes de hilo en al menos una propiedad seleccionada del grupo consistente en tolerancia a los campos magnéticos, tolerancia a la temperatura, pérdida de CA y tolerancia a la deformación. En una realización, los hilos superconductores están enrollados en torno a un eje central del cable. En otra realización, los hilos superconductores están enrollados en más de una capa.

Las máquinas anteriormente descritas que comprenden una bobina inductora ejemplifican implementaciones no limitantes de hilos superconductores graduados funcionalmente. Los segmentos de hilo de la bobina inductora están situados para disponer los segmentos de hilo más tolerantes a los campos dentro o en estrecha proximidad de la zona de campo más intenso producido por la bobina inductora. Esto permite mayor corriente a la bobina inductora y mejora la densidad de par para un tamaño y una configuración dados de bobina.

Se contemplan otros sistemas de generación de electricidad que usen componentes eléctricos que comprendan los hilos superconductores graduados funcionalmente descritos en el presente documento. Los sistemas no están limitados a las realizaciones específicas descritas en el presente documento, sino que, más bien, los componentes de cada sistema pueden ser utilizados independientemente y por separado de otros componentes descritos en el presente documento. Cada componente del sistema también puede ser usado en combinación con otros componentes del sistema.

También se da a conocer un procedimiento de formación de una bobina inductora superconductora que comprende un hilo superconductor que comprende enrollar un primer segmento de hilo; unir un segundo segmento de hilo al primer segmento de hilo; y enrollar el segundo segmento de hilo en torno al primer segmento de hilo, difiriendo el primer segmento de hilo y el segundo segmento de hilo en al menos una propiedad seleccionada del grupo consistente en tolerancia a los campos magnéticos, tolerancia a la temperatura, pérdida de CA y tolerancia a la deformación; y midiéndose la tolerancia a los campos magnéticos por la relación entre la corriente crítica  $I_c$  y el campo magnético  $H$  a una temperatura dada  $T$  inferior a la temperatura crítica  $T_c$ , midiéndose la tolerancia a la temperatura por la relación entre la corriente crítica  $I_c$  y la temperatura  $T$  en un campo magnético dado inferior al campo magnético crítico  $H_c$ , midiéndose la pérdida de CA por la cantidad de pérdida de CA en función de la frecuencia y la magnitud de las corrientes de CA y los campos aplicados, y midiéndose la tolerancia a la deformación por la degradación de la corriente crítica  $I_c$  con la deformación. En una realización, los segmentos de hilo se unen durante el procedimiento de devanado. En una realización, los segmentos de hilo se unen mediante soldadura. En una realización, los segmentos de hilo se unen mediante soldadura por difusión. En una realización, el segundo

segmento de hilo comprende  $Nb_3Sn$  y está situado definiendo una zona de campo intenso de la bobina inductora, y el primer segmento de hilo comprende  $NbTi$  y está situado definiendo una zona de campo débil de la bobina inductora, siendo la segunda tolerancia a los campos magnéticos del segundo segmento de hilo mayor que la primera tolerancia a los campos magnéticos del primer segmento de hilo.

- 5 En la anterior descripción, las formas singulares “un”, “una” y “el”, “la” incluyen los referentes plurales, a no ser que el contexto dicte claramente lo contrario. Los puntos finales de todos los intervalos dirigidos a la misma característica o el mismo componente son combinables independientemente e incluyen el punto final enumerado.

Esta descripción escrita usa ejemplos para dar a conocer la invención, incluyendo el modo preferente, y también para permitir que cualquier persona experta en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema, y que lleve a cabo cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Se entiende que tales ejemplos adicionales están dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales con respecto al lenguaje literal de las reivindicaciones.

Se definen ahora diversos aspectos de la presente divulgación en las siguientes cláusulas numeradas:

1. Un componente eléctrico que comprende un hilo superconductor, comprendiendo el hilo:
  - un primer segmento de hilo unido a un segundo segmento de hilo; difiriendo el primer segmento de hilo y el segundo segmento de hilo en al menos una propiedad seleccionada del grupo consistente en tolerancia a los campos magnéticos, tolerancia a la temperatura, pérdida de CA y tolerancia a la deformación; y midiéndose la tolerancia a los campos magnéticos por la relación entre la corriente crítica  $I_c$  y el campo magnético  $H$  a una temperatura dada  $T$  inferior a la temperatura crítica  $T_c$ , midiéndose la tolerancia a la temperatura por la relación entre la corriente crítica  $I_c$  y la temperatura  $T$  en un campo magnético dado inferior al campo magnético crítico  $H_c$ , midiéndose la pérdida de CA por la cantidad de pérdida de CA en función de la frecuencia y la magnitud de las corrientes de CA y los campos aplicados, y midiéndose la tolerancia a la deformación por la degradación de la corriente crítica  $I_c$  con la deformación.
2. El componente eléctrico de la cláusula 1 que, además, comprende varias capas adyacentes o tramos del hilo superconductor.
3. El componente eléctrico de cualquier cláusula precedente, siendo el componente eléctrico un cable o una bobina.
4. El componente eléctrico de cualquier cláusula precedente en el que el hilo superconductor comprende, además, al menos un segmento adicional de hilo unido al segundo segmento de hilo; difiriendo el al menos un segmento adicional de hilo y el segundo segmento de hilo en al menos una propiedad seleccionada del grupo consistente en tolerancia a los campos magnéticos, tolerancia a la temperatura, pérdida de CA y tolerancia a la deformación.
5. El componente eléctrico de cualquier cláusula precedente en el que los segmentos primero y segundo de hilo comprenden composiciones superconductoras diferentes.
6. El componente eléctrico de cualquier cláusula precedente en el que la composición superconductoras se selecciona del grupo consistente en  $NbTi$ ,  $Nb_3Sn$ ,  $MgB_2$ ,  $YBa_2Cu_3O_7$ , BSCCO-2223, BSCCO-2212,  $TlBa_2Ca_2Cu_3O_9$ ,  $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$ ,  $(TlPb)Sr_2CaCu_2O_7$ ,  $(TlPb)Sr_2Ca_2Cu_3O_9$  y combinaciones de las mismas.
7. El componente eléctrico de cualquier cláusula precedente en el que los segmentos primero y/o segundo de hilo comprenden más de un filamento que comprende una composición superconductoras.
8. El componente eléctrico de cualquier cláusula precedente en el que los segmentos primero y/o segundo de hilo comprenden una matriz metálica no superconductoras que rodea a un filamento superconductor.
9. El componente eléctrico de cualquier cláusula precedente en el que la matriz metálica no superconductoras es cobre o una aleación de cobre.
10. El componente eléctrico de cualquier cláusula precedente en el que el primer segmento de hilo está formado de  $NbTi$  y el segundo segmento de hilo está formado de  $Nb_3Sn$ .
11. El componente eléctrico de cualquier cláusula precedente en el que los segmentos primero y/o segundo de hilo comprenden, además, un dopante seleccionado del grupo consistente en cobre, oro, plata, magnesio, cinc, plomo, cadmio, estaño, bismuto, galio, mercurio e indio o una combinación que comprenda al menos uno de los anteriores dopantes.

12. Un procedimiento de formación de una bobina inductora superconductora que comprende un hilo superconductor, que comprende:
- 5           enrollar un primer segmento de hilo;  
           unir un segundo segmento de hilo al primer segmento de hilo; y  
           enrollar el segundo segmento de hilo en torno al primer segmento de hilo, y  
           diferenciando el primer segmento de hilo y el segundo segmento de hilo en al menos una propiedad  
           seleccionada del grupo consistente en tolerancia a los campos magnéticos, tolerancia a la temperatura,  
           pérdida de CA y tolerancia a la deformación; y  
 10           midiéndose la tolerancia a los campos magnéticos por la relación entre la corriente crítica  $I_c$  y el campo  
           magnético  $H$  a una temperatura dada  $T$  inferior a la temperatura crítica  $T_c$ , midiéndose la tolerancia a la  
           temperatura por la relación entre la corriente crítica  $I_c$  y la temperatura  $T$  en un campo magnético dado  
           inferior al campo magnético crítico  $H_c$ , midiéndose la pérdida de CA por la cantidad de pérdida de CA en  
           función de la frecuencia y la magnitud de las corrientes de CA y los campos aplicados, y midiéndose la  
           tolerancia a la deformación por la degradación de la corriente crítica  $I_c$  con la deformación.
- 15           13. El procedimiento de la cláusula 12 en el que el primer segmento de hilo está formado de NbTi y define una  
           zona de campo débil y el segundo segmento de hilo está formado de  $Nb_3Sn$  y define una zona de campo  
           intenso de la bobina inductora.
14. El procedimiento de las cláusulas 12 o 13 en el que la unión del segundo segmento de hilo al primer  
           segmento de hilo comprende un procedimiento de soldadura.
- 20           15. El procedimiento de cualquiera de las cláusulas 12 a 14 en el que la unión del segundo segmento de hilo al  
           primer segmento de hilo comprende un procedimiento de soldadura por difusión.
16. El procedimiento de cualquiera de las cláusulas 12 a 15 en el que los segmentos primero y/o segundo de  
           hilo comprenden una composición superconductora seleccionada del grupo consistente en NbTi,  $Nb_3Sn$ ,  
            $MgB_2$ ,  $YBa_2Cu_3O_7$ , BSCCO-2223, BSCCO-2212,  $TlBa_2Ca_2Cu_3O_9$ ,  $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$ ,  $(TlPb)Sr_2CaCu_2O_7$ ,  
 25            $(TlPb)Sr_2Ca_2Cu_3O_9$  y combinaciones de las mismas.
17. Una máquina que comprende:
- un componente eléctrico que comprende un hilo superconductor, comprendiendo el hilo  $n$  segmentos de  
           hilo unidos por  $n-1$  uniones; siendo  $n$  un entero mayor o igual que 2; y diferenciando los segmentos  
 30           adyacentes de hilo en al menos una propiedad seleccionada del grupo consistente en tolerancia a los  
           campos magnéticos, tolerancia a la temperatura, pérdida de CA y tolerancia a la deformación; y  
           midiéndose la tolerancia a los campos magnéticos por la relación entre la corriente crítica  $I_c$  y el campo  
           magnético  $H$  a una temperatura dada  $T$  inferior a la temperatura crítica  $T_c$ , midiéndose la tolerancia a la  
           temperatura por la relación entre la corriente crítica  $I_c$  y la temperatura  $T$  en un campo magnético dado  
 35           inferior al campo magnético crítico  $H_c$ , midiéndose la pérdida de CA por la cantidad de pérdida de CA en  
           función de la frecuencia y la magnitud de las corrientes de CA y los campos aplicados, y midiéndose la  
           tolerancia a la deformación por la degradación de la corriente crítica  $I_c$  con la deformación.
18. La máquina de la cláusula 17 en la que el componente electrónico es una bobina inductora  
           superconductora.
- 40           19. La máquina de las cláusulas 17 o 18 que, además, comprende un conjunto rotor que comprende un árbol  
           giratorio y un conjunto de estatores estacionarios que comprende unos estatores interno y externo  
           concéntricos y varios devanados del inducido, siendo estacionaria la bobina inductora superconductora.
20. La máquina de cualquiera de las cláusulas 17 a 19, siendo la máquina un generador.
21. La máquina de cualquiera de las cláusulas 17 a 20, siendo la máquina un motor.
- 45           22. La máquina de cualquiera de las cláusulas 17 a 21 en la que el generador es un componente de un  
           conjunto de turbina eólica.

## REIVINDICACIONES

1. Un componente eléctrico que comprende un hilo superconductor (10), comprendiendo el hilo:
  - un primer segmento (12) de hilo unido a un segundo segmento (14) de hilo; estando formado el primer segmento (12) de hilo de NbTi y estando formado el segundo segmento (14) de hilo de Nb<sub>3</sub>Sn, y comprendiendo los segmentos primero y segundo (12, 14) de hilo, además, un dopante seleccionado del grupo consistente en cobre, oro, plata, magnesio, cinc, plomo, cadmio, estaño, bismuto, galio, mercurio e indio o una combinación que comprenda al menos uno de los anteriores dopantes; comprendiendo los segmentos primero y/o segundo (12, 14) de hilo una matriz metálica no superconductora (44) que rodea a un filamento superconductor (42) con una capa metálica dispuesta entre el filamento superconductor (42) y la matriz metálica; difiriendo el primer segmento (12) de hilo y el segundo segmento (14) de hilo en al menos una propiedad seleccionada del grupo consistente en tolerancia a los campos magnéticos, tolerancia a la temperatura, pérdida de CA y tolerancia a la deformación; y midiéndose la tolerancia a los campos magnéticos por la relación entre la corriente crítica I<sub>c</sub> y el campo magnético H a una temperatura dada T inferior a T<sub>c</sub>, midiéndose la tolerancia a la temperatura por la relación entre la corriente crítica I<sub>c</sub> y la temperatura T en un campo magnético dado inferior a H<sub>c</sub>, midiéndose la pérdida de CA por la cantidad de pérdida de CA en función de la frecuencia y la magnitud de las corrientes de CA y los campos aplicados, y midiéndose la tolerancia a la deformación por la degradación de la corriente crítica I<sub>c</sub> con la deformación.
2. El componente eléctrico de la reivindicación 1 que, además, comprende varias capas adyacentes o tramos del hilo superconductor (10).
3. El componente eléctrico de cualquier reivindicación precedente, siendo el componente eléctrico un cable o una bobina.
4. El componente eléctrico de cualquier reivindicación precedente, en el que el hilo superconductor (10) comprende, además, al menos un segmento adicional de hilo unido al segundo segmento (14) de hilo; difiriendo el al menos un segmento adicional de hilo y el segundo segmento (14) de hilo en al menos una propiedad seleccionada del grupo consistente en tolerancia a los campos magnéticos, tolerancia a la temperatura, pérdida de CA y tolerancia a la deformación.
5. El componente eléctrico de cualquier reivindicación precedente, en el que los segmentos primero y/o segundo (12, 14) de hilo comprenden más de un filamento que comprende una composición superconductora.
6. El componente eléctrico de cualquier reivindicación precedente, en el que la matriz metálica no superconductora (44) es cobre o una aleación de cobre.
7. Una máquina (100) que comprende un componente eléctrico que comprende un hilo superconductor (10) según se define en cualquier reivindicación precedente.
8. La máquina (100) de la reivindicación 7 que, además, comprende un conjunto rotor (110) que comprende un árbol giratorio (120) y un conjunto (150) de estatores estacionarios que comprende unos estatores interno (162) y externo (164) concéntricos y varios devanados (166) del inducido, proporcionando el componente eléctrico (40) una bobina (170) inductora superconductora.
9. La máquina (100) de la reivindicación 7 u 8, siendo la máquina (100) un generador, un motor o un componente de un conjunto de turbina eólica.

FIG. 1

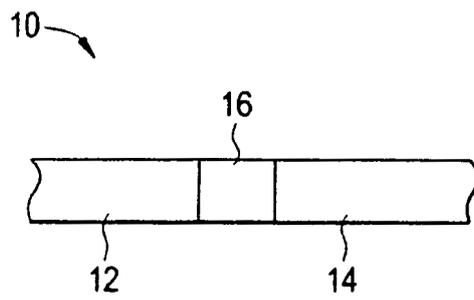


FIG. 2

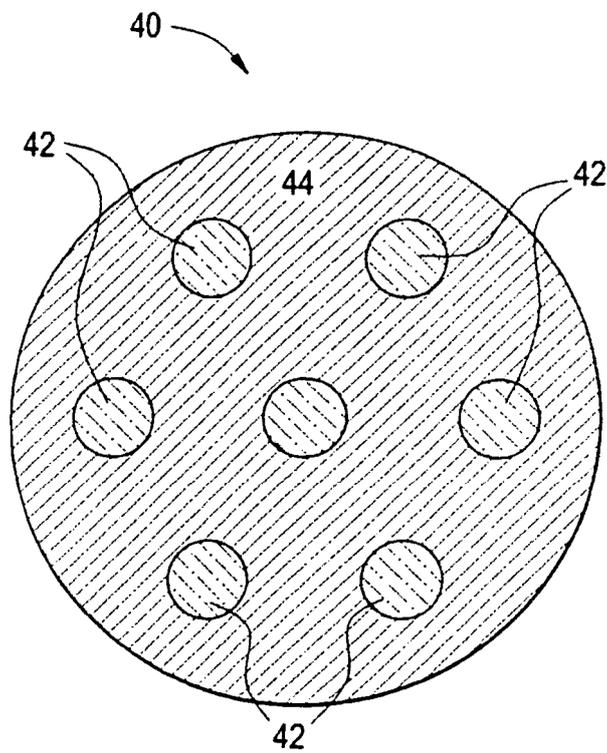


FIG. 3

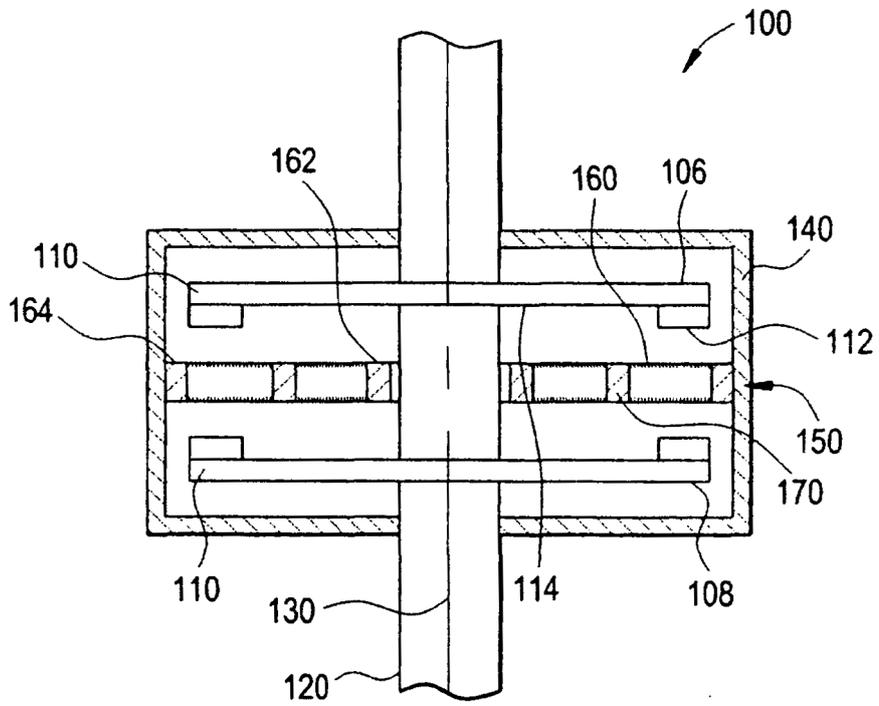


FIG. 4

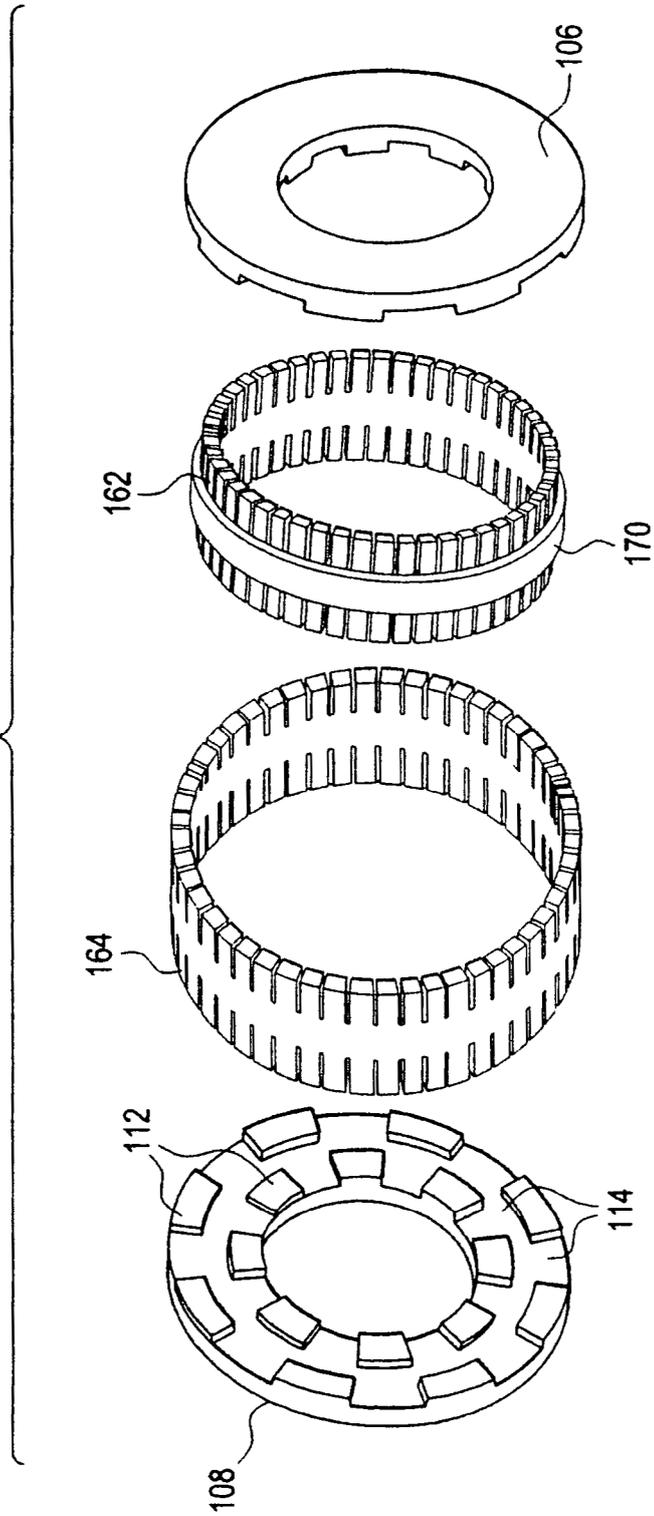


FIG. 5

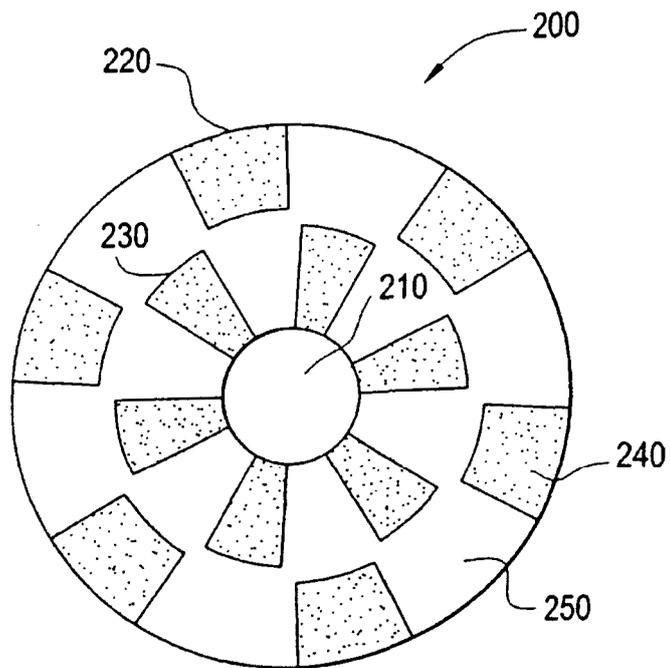


FIG. 6

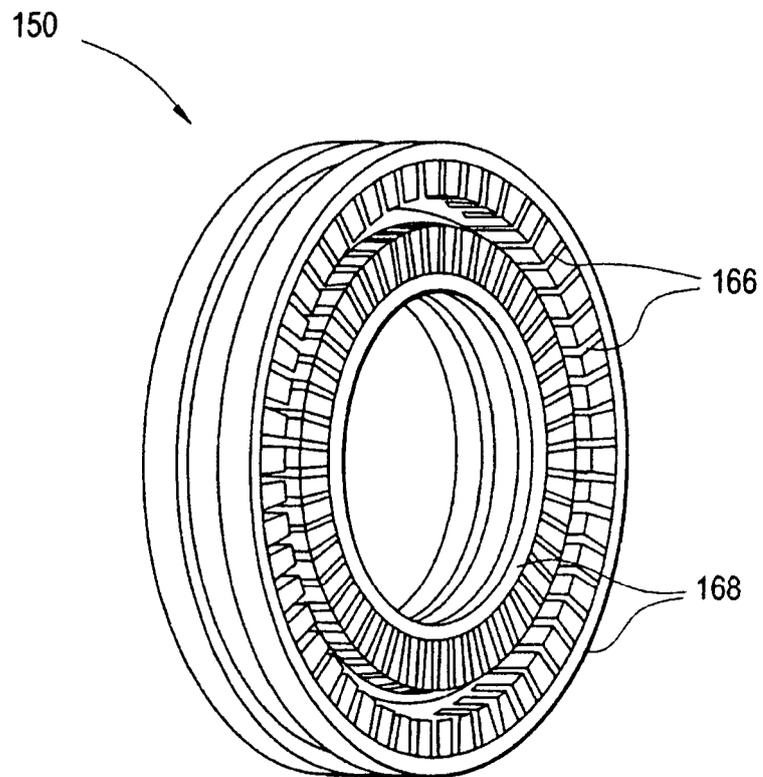


FIG. 7

