

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 530 575**

51 Int. Cl.:

**H01F 3/02** (2006.01)

**H02H 9/02** (2006.01)

**H01F 38/02** (2006.01)

**H01F 3/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.08.2010 E 10737919 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.11.2014 EP 2601658**

54 Título: **Un núcleo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**03.03.2015**

73 Titular/es:

**ALSTOM TECHNOLOGY LTD. (100.0%)  
Brown Boveri Strasse 7  
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**STURGESS, JONATHAN, PETER**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

**ES 2 530 575 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**

Un núcleo

5 Esta invención se refiere a un núcleo de limitador magnético de corriente de falta y a su uso en un limitador magnético de corriente de falta.

10 Cuando se hace funcionar cualquier aparato eléctrico, la corriente eléctrica que fluye a través del aparato se mantiene normalmente dentro de una gama de corriente predeterminada del aparato eléctrico. Sin embargo, una falta u otra condición de funcionamiento anómala del aparato eléctrico puede dar lugar a la aparición de una alta corriente de falta que supere la gama de corriente del aparato eléctrico. Por ejemplo, durante el funcionamiento de redes de transmisión de energía eléctrica, los convertidores de fuentes de tensión pueden ser vulnerables a faltas de CC que presentan un cortocircuito con baja impedancia a través de las líneas o cables de transmisión de energía eléctrica de CC. Tales faltas pueden producirse debido a daños o defectos en el material de aislamiento, al movimiento de conductores o a otras conexiones accidentales entre conductores mediante un objeto extraño.

15 La aparición de una alta corriente de falta no solo puede producir daños en los componentes del aparato eléctrico, sino también que el aparato eléctrico esté inoperativo durante un periodo de tiempo. Esto origina un mayor coste en la reparación y el mantenimiento del hardware dañado del aparato eléctrico, además de molestias a usuarios finales que dependen del funcionamiento del aparato eléctrico.

Los efectos adversos pueden impedirse limitando la magnitud de la alta corriente de falta usando un limitador de corriente.

25 Una solución conocida para un limitador de corriente está en la forma de un limitador magnético de corriente de falta. El limitador magnético de corriente de falta se comporta como un inductor variable, que presenta baja impedancia durante condiciones de funcionamiento normales y alta impedancia durante condiciones de falta, lo que provoca la aparición de una alta corriente de falta en una red de energía eléctrica asociada. En limitadores magnéticos de corriente de falta que utilizan material de imán permanente, el flujo magnético pasa a través el material de imán permanente durante condiciones de funcionamiento normales cuando la red de energía eléctrica asociada está en un estado libre de faltas y durante condiciones de faltas.

30 El paso del flujo magnético a través del material de imán permanente da como resultado corrientes de Foucault inducidas e histéresis magnética. Esto no solo provoca pérdidas de energía en el limitador de corriente, sino también un aumento de temperatura del material de imán permanente, lo que no es deseable ya que los materiales de imán permanente pueden experimentar un menor rendimiento por encima de una temperatura específica.

35 El tamaño de las corrientes de Foucault inducidas puede reducirse subdividiendo un único bloque del material de imán permanente en una pluralidad de placas delgadas. Cada una de estas placas puede cubrirse con un delgado material eléctricamente aislante y después unirse entre sí a través medios mecánicos y/o adhesivos. La sección transversal relativamente menor de cada placa reduce la circulación de las corrientes de Foucault inducidas, minimizando así el tamaño de la corriente de Foucault inducida.

40 El flujo magnético que fluye a través del material de imán permanente puede mantenerse relativamente bajo para reducir las pérdidas por histéresis, ya que el material de imán permanente experimenta un mayor grado de histéresis magnética a medida que aumenta la densidad del flujo magnético. Sin embargo, este enfoque hace que el limitador magnético de corriente de falta no sea adecuado para usarse por encima de un nivel específico de corriente eléctrica y, por tanto, limita la capacidad operativa del limitador.

45 El efecto de calentamiento de las pérdidas por histéresis en el material de imán permanente puede reducirse añadiendo un sistema de refrigeración al limitador magnético de corriente de falta. Sin embargo, el sistema de refrigeración no solo supone una fuente adicional de pérdida de energía, sino que también reduce la fiabilidad del dispositivo debido a los posibles fallos del sistema de refrigeración y de sus diversos componentes, tales como el equipo de detección y control y las fuentes de alimentación auxiliares. La presencia del sistema de refrigeración también genera un mayor coste, tamaño y peso del hardware.

50 Como alternativa, el material de imán permanente puede diseñarse para adoptar una topología, tal como una gran área de superficie, que favorezca un enfriamiento natural. Sin embargo, el material de imán permanente necesitaría ocupar una gran cantidad de espacio para que se enfríe lo suficiente durante el funcionamiento del imitador magnético de corriente de falta.

55 El documento JP 2003-197436 A da a conocer un núcleo de limitador magnético de corriente de falta que comprende primeros elementos magnéticos que incluyen un material magnético blando y segundos elementos magnéticos que incluyen un material magnético duro. Los elementos magnéticos están dispuestos para definir una disposición sustancialmente paralela de elementos magnéticos.

El documento GB 2.415.833 A se refiere al uso de imanes permanentes en circuitos magnéticos tales como limitadores de corriente de falta para corrientes alternas. La disposición de imanes permanentes comprende una pluralidad de imanes permanentes conectados en paralelo entre sí.

- 5 El artículo "*Design and Construction of a Magnetic Fault Current Limiter*" de J.-L. Rasolonjanahary et al. da a conocer un limitador de corriente de falta que usa imanes permanentes. El artículo se refiere a un limitador ideal de corriente de falta para una conexión en serie con baja impedancia para corrientes de circuito nominal pero con alta impedancia para corrientes de falta.
- 10 El documento US 2004/0134565 se refiere a un proceso de autoensamblaje de nanopartículas magnéticas de múltiples componentes o con estructura núcleo-recubrimiento en nanocompuestos. Más en particular, se refiere a un proceso de autoensamblaje de nanocompuestos magnéticos que incluyen fases magnéticamente duras y blandas, que están acoplados mediante intercambio y que poseen productos de energía mucho mayores que materiales de una sola fase.
- 15 Según un aspecto de la invención, se proporciona un núcleo de limitador magnético de corriente de falta como el descrito en la reivindicación 1.
- 20 La provisión de una disposición sustancialmente paralela de primeros y segundos elementos magnéticos da como resultado un núcleo de limitador magnético de corriente de falta con pérdidas por histéresis más bajas debido a que la cantidad de flujo magnético que fluye a través del material magnético duro durante el funcionamiento normal del limitador magnético de corriente de falta se minimiza.
- 25 Durante el uso, cuando una bobina está enrollada alrededor del núcleo para formar un limitador magnético de corriente de falta, la disposición sustancialmente paralela de los primeros y segundos elementos magnéticos y la mayor permeabilidad magnética del material magnético blando no saturado permiten que la mayor parte del flujo magnético fluya preferentemente a través del material magnético blando durante condiciones de funcionamiento normales de un circuito eléctrico asociado. Esto significa que una cantidad mínima de flujo magnético pasa a través del material magnético duro durante condiciones de funcionamiento normales. Esto provoca una reducción en las pérdidas por histéresis en el núcleo, ya que el material magnético blando presenta niveles inferiores de histéresis magnética que el material magnético duro.
- 30 En caso de una falta u otra condición de funcionamiento anómala que dé como resultado una alta corriente de falta en el circuito eléctrico asociado, el cambio de la trayectoria de flujo del flujo magnético hacia el material magnético duro genera una alta impedancia en la bobina, lo que actúa para limitar la corriente de falta. Aunque este cambio en la trayectoria de flujo del flujo magnético da como resultado altos niveles de histéresis magnética, el flujo magnético solo fluye a través del material magnético duro durante cortos periodos de tiempo. Por consiguiente, las pérdidas por histéresis resultantes en el material magnético duro se mantienen al mínimo.
- 35 Por lo tanto, la disposición sustancialmente paralela de los primeros y segundos elementos magnéticos minimiza la cantidad de flujo magnético que fluye a través del material magnético duro durante el funcionamiento normal del limitador magnético de corriente de falta y, por tanto, reduce las pérdidas por histéresis en el núcleo de limitador magnético de corriente de falta.
- 40 Además, la disposición sustancialmente paralela de los primeros y segundos elementos magnéticos también implica que el control del flujo magnético a través del limitador magnético de corriente de falta es pasivo por naturaleza y no requiere un control adicional en forma de equipo de detección y/o de conmutación. Esto no solo minimiza el tamaño, el peso y el coste del hardware, sino que además aumenta la fiabilidad del limitador de corriente al eliminarse el riesgo de fallos en el equipo de detección y/o de control asociado.
- 45 Preferentemente, al menos un primer elemento magnético está separado de al menos un segundo elemento magnético vecino mediante un aislante. El o cada aislante puede ser un entrehierro o un material sólido no conductor tal como un adhesivo, barniz, mica u otro material similar.
- 50 En otras realizaciones, al menos un primer elemento magnético y/o al menos un segundo elemento magnético puede incluir una pluralidad de capas secundarias de material magnético, estando separada cada capa secundaria de la o de cada capa secundaria vecina mediante un aislante.
- 55 La provisión de capas primarias y/o secundarias de elementos magnéticos ayuda a proporcionar un núcleo de limitador magnético de corriente de falta en el que las pérdidas de energía debidas a la creación de corrientes de Foucault se reducen. La magnitud de cualquier corriente de Foucault inducida en los elementos magnéticos cuando un flujo variable fluye a través de los elementos magnéticos se reduce en gran medida debido a la sección transversal relativamente pequeña de cada capa primaria y/o secundaria de primeros y/o segundos elementos magnéticos, y a su aislamiento eléctrico entre sí, lo que en conjunto limita la circulación de las corrientes de Foucault.
- 60
- 65

5 El núcleo de limitador magnético de corriente de falta puede incluir al menos un elemento magnético que presenta un diámetro interior hueco en el que una parte de al menos un primer elemento magnético está alojada dentro de un diámetro interior hueco de un segundo elemento magnético que presenta un diámetro interior hueco y/o una parte de al menos un segundo elemento magnético está alojada dentro de un diámetro interior hueco de un primer elemento magnético.

10 El núcleo de limitador magnético de corriente de falta también puede incluir al menos un elemento magnético que presenta un interior hueco y sellado, donde al menos un primer elemento magnético está alojado dentro de un interior hueco y sellado de un segundo elemento magnético y/o al menos un segundo elemento magnético está alojado dentro de un interior hueco y sellado de un primer elemento magnético.

En realizaciones de la invención, cada elemento magnético puede ser una varilla o una barra. En otras realizaciones, la sección transversal de cada elemento magnético puede tener una forma circular, ovalada o poliédrica.

15 La estructura del núcleo de limitador magnético de corriente de falta puede variar dependiendo de los requisitos de la aplicación asociada al limitador magnético de corriente de falta.

20 Preferentemente, en un núcleo de limitador de corriente de falta en el que al menos un primer elemento magnético está separado de al menos un segundo elemento magnético vecino mediante un entrehierro, al menos un tal entrehierro contiene un material eléctricamente aislante.

25 El uso de material eléctricamente aislante de esta manera no solo proporciona un aislamiento eléctrico entre elementos magnéticos vecinos, sino que también proporciona una estructura de soporte para mantener en su sitio a los elementos magnéticos vecinos.

30 Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un limitador magnético de corriente de falta que comprende un núcleo de limitador magnético de corriente de falta según cualquiera de las realizaciones mencionadas anteriormente y al menos un conductor eléctrico enrollado alrededor de una parte del o de cada núcleo para definir una bobina.

La estructura del limitador de corriente es sencilla de fabricar y se adapta fácilmente para montarse en cualquier aparato que requiera uno o más limitadores de corriente.

35 En realizaciones de la invención, el o cada conductor eléctrico puede enrollarse alrededor de primeros y segundos elementos magnéticos.

40 El enrollado del o de cada conductor eléctrico alrededor de primeros y segundos elementos magnéticos permite que el campo magnético generado tenga un mayor efecto en los elementos magnéticos y, por tanto, mejora la eficacia del limitador de corriente a la hora de controlar la trayectoria de flujo del flujo magnético y de limitar la corriente de falta.

Preferentemente, durante el uso, el o cada conductor eléctrico transporta una corriente alterna.

45 La o cada bobina está conectada preferentemente de manera operativa, durante el uso, a uno o más circuitos eléctricos. En tales realizaciones, la o cada bobina presenta una impedancia para minimizar una corriente de falta creada por una falta, durante el uso, en un circuito eléctrico.

50 El limitador de corriente puede usarse para minimizar la corriente de falta en uno o más circuitos eléctricos asociados durante condiciones de falta u otras condiciones de funcionamiento anómalas para impedir daños en el o en cada circuito eléctrico asociado.

En otras realizaciones, la o cada bobina puede estar en forma de un solenoide o de un toroide para proporcionar un campo magnético uniforme y controlado.

55 A continuación se describirán realizaciones preferidas de la invención, a modo de ejemplos no limitativos, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 muestra un ejemplo de un núcleo de limitador magnético de corriente de falta; y

60 la figura 2 muestra un núcleo de limitador magnético de corriente de falta según la invención.

En la figura 1 se muestra un núcleo de limitador magnético de corriente de falta 10a.

65 El núcleo de limitador magnético de corriente de falta 10a comprende un primer elemento magnético 12 y un segundo elemento magnético 14 dispuestos para definir una disposición sustancialmente paralela de elementos magnéticos 12, 14.

Cada primer elemento magnético 12 incluye una pluralidad de capas secundarias de material magnético blando. Preferentemente, el material magnético blando es acero eléctrico, que tiene una alta permeabilidad magnética y que presenta bajas pérdidas por histéresis.

5 Cada capa secundaria puede cubrirse con un delgado material eléctricamente aislante para proporcionar aislamiento eléctrico entre capas secundarias vecinas. Estas capas secundarias cubiertas pueden unirse entre sí mecánicamente y/o usando adhesivo para formar el primer elemento magnético 12. Se concibe que en realizaciones de la invención, cada capa secundaria pueda estar separada de cada capa secundaria vecina mediante un  
10 entrehierro, y en algunos casos al menos un tal entrehierro puede contener adicionalmente material eléctricamente aislante.

15 La provisión de capas secundarias reduce las pérdidas de energía asociadas a las corrientes de Foucault inducidas en el núcleo de limitador magnético de corriente de falta. Esto se debe a que la magnitud de cualquier corriente de Foucault inducida en los elementos magnéticos, cuando un flujo variable fluye a través del núcleo de limitador magnético de corriente de falta, se reduce considerablemente debido a la sección transversal relativamente pequeña de cada capa secundaria, lo que reduce considerablemente la circulación de las corrientes de Foucault.

20 Además, el aislamiento eléctrico mutuo entre las capas secundarias limita la circulación de las corrientes de Foucault.

El segundo elemento magnético 14 incluye un material magnético duro y está separado del primer elemento magnético 12 mediante un entrehierro que, en otras realizaciones, puede contener material eléctricamente aislante.

25 En la Figura 2 se muestra un núcleo de limitador magnético de corriente de falta 10b según la invención.

El núcleo de limitador magnético de corriente de falta 10b comprende una pluralidad de primeros elementos magnéticos 12 y una pluralidad de segundos elementos magnéticos 14, estando dispuestos estos elementos magnéticos para formar capas primarias alternas de primeros y segundos elementos magnéticos 12, 14.

30 Cada capa primaria puede estar cubierta con material eléctricamente aislante para proporcionar un aislamiento eléctrico entre capas primarias vecinas. Como se ha mencionado anteriormente, estas capas primarias cubiertas pueden unirse entre sí mecánicamente y/o usando adhesivo para formar el núcleo de limitador magnético de corriente de falta. Se concibe que en realizaciones de la invención, cada capa primaria pueda estar separada de cada capa primaria vecina mediante un entrehierro y, en algunos casos, al menos un tal entrehierro puede contener  
35 adicionalmente material eléctricamente aislante.

40 El grosor de cada uno de los segundos elementos magnéticos 14 puede ser mayor que el de cada uno de los primeros elementos magnéticos 12 debido a la mayor profundidad de la película electromagnética de los materiales magnéticos duros.

45 Se concibe que, en realizaciones de la invención, el núcleo de limitador magnético de corriente de falta puede comprender cualquier número de primeros y segundos elementos magnéticos 14, y/o al menos uno de los primeros y/o segundos elementos magnéticos 14 puede incluir una pluralidad de capas secundarias del material magnético respectivo.

50 En otras realizaciones, al menos uno de cualquiera o de ambos primeros y segundos elementos magnéticos 12, 14 puede tener un diámetro interior hueco de modo que una parte de al menos un primer elemento magnético 12 está alojada dentro de un diámetro interior hueco de un segundo elemento magnético 14 que presenta un diámetro interior hueco y/o una parte de al menos un segundo elemento magnético 14 está alojada dentro de un diámetro interior hueco de un primer elemento magnético 12.

55 En realizaciones adicionales, al menos uno de cualquiera o de ambos primeros y segundos elementos magnéticos 12, 14 puede tener un interior hueco y sellado, donde al menos un primer elemento magnético 12 está alojado dentro de un interior hueco y sellado de un segundo elemento magnético 14 y/o al menos un segundo elemento magnético 14 está alojado dentro de un interior hueco y sellado de un primer elemento magnético 12.

60 Preferentemente, cada elemento magnético es una varilla o una barra, y/o la sección transversal de cada elemento magnético tiene una forma circular, ovalada o poliédrica.

65 Para formar un limitador magnético de corriente de falta, uno o más conductores eléctricos, por ejemplo hilos eléctricamente conductores, pueden enrollarse alrededor de una parte o de todo el núcleo de limitador magnético de corriente de falta 10a, 10b para definir una o más bobinas. Preferentemente, el o cada hilo eléctricamente conductor está enrollado alrededor de los primeros y segundos elementos magnéticos para permitir que la histéresis magnética en el material magnético duro tenga un mayor efecto en la impedancia de la bobina, mejorando así la eficacia del limitador de corriente.

La o cada bobina y el núcleo 10a, 10b forman un limitador magnético de corriente de falta que, durante el uso, actúa para limitar o suprimir una corriente de falta en un circuito eléctrico asociado durante condiciones de falta u otras condiciones de funcionamiento anómalas.

5 Durante el uso, la o cada bobina transporta una corriente alterna, que puede adoptar la forma de una forma de onda sinusoidal u otros tipos de formas de onda. De este modo, el limitador de corriente puede asociarse de manera operativa a uno o más circuitos eléctricos que transportan corriente alterna, tales como convertidores de energía y motores eléctricos.

10 Durante el funcionamiento del circuito eléctrico asociado, la corriente fluye a través del circuito eléctrico asociado y a través de la bobina enrollada alrededor del núcleo 10a, 10b. El flujo de corriente a través de la bobina genera el flujo magnético que fluye a través del núcleo 10a, 10b dentro de la bobina, lo que provoca la magnetización y la desmagnetización de los materiales magnéticos de los primeros y segundos elementos magnéticos 12, 14 cuando la corriente alterna pasa a través de la bobina.

15 Para los fines de esta memoria descriptiva, los términos positivo y negativo hacen referencia al sentido de la fuerza de magnetización y a la densidad del flujo magnético.

20 Para generar un primer campo magnético alrededor de la bobina, la corriente alterna fluye a través de la bobina en un sentido directo. El aumento de magnitud de la corriente alterna en el sentido directo produce un aumento correspondiente de la fuerza de magnetización en un sentido positivo, lo que a su vez da lugar a la aparición de una densidad positiva de flujo magnético dentro del material magnético del núcleo 10a, 10b. La densidad positiva de flujo magnético alcanza su valor máximo en el valor de pico de la corriente alterna en el sentido directo.

25 Después de alcanzar su valor de pico en el sentido directo, la corriente alterna empieza a disminuir hasta una corriente nula, lo que da lugar a una reducción correspondiente de la fuerza de magnetización en el sentido positivo. En la corriente nula, la fuerza de magnetización tiene un valor cero.

30 La disminución de la fuerza de magnetización en el sentido positivo da lugar a un aumento de la densidad positiva de flujo magnético dentro del material magnético. Sin embargo, el material magnético puede conservar una densidad positiva de flujo magnético en la corriente alterna nula y una fuerza de magnetización. Esto se debe a que la aplicación de una fuerza de magnetización al material magnético da lugar a la magnetización del material magnético, que puede permanecer magnetizado incluso después de que la fuerza de magnetización haya cesado completamente. La conservación del magnetismo en el material magnético tras la supresión de la fuerza de magnetización se conoce como magnetismo permanente.

35 Con el fin de generar un segundo campo magnético alrededor de la bobina, la corriente alterna fluye a través de la bobina en sentido inverso. El aumento de magnitud de la corriente alterna en el sentido inverso da lugar a un aumento correspondiente de la fuerza de magnetización en el sentido negativo. Sin embargo, el magnetismo permanente en el material magnético significa que la densidad de flujo magnético en el material magnético permanecerá positiva hasta que la fuerza de magnetización en el sentido negativo sea suficientemente grande como para desmagnetizar el material magnético.

45 Después de que material magnético se haya desmagnetizado, la corriente alterna aumenta adicionalmente su magnitud en el sentido inverso y, por tanto, la fuerza de magnetización en el sentido negativo da lugar a la aparición de una densidad negativa de flujo magnético dentro del material magnético. La densidad negativa de flujo magnético dentro del material magnético alcanza su máximo valor negativo en el valor de pico de la corriente alterna en el sentido inverso.

50 Durante el cambio de flujo de la corriente alterna desde el sentido inverso al sentido directo, el material magnético conserva una densidad negativa de flujo magnético hasta que la fuerza magnetizadora en el sentido positivo sea suficientemente grande como para desmagnetizar el material magnético. Después de la desmagnetización del material magnético, la corriente alterna aumenta adicionalmente su magnitud en el sentido directo y, por lo tanto, la fuerza de magnetización en el sentido positivo da lugar a la aparición de una densidad positiva de flujo magnético dentro del material magnético hasta su valor máximo en el valor de pico de la corriente alterna en el sentido directo.

55 El comportamiento cíclico mencionado anteriormente define un bucle de histéresis cerrado que describe una relación entre la fuerza de magnetización y la densidad de flujo magnético. La forma y el tamaño del bucle de histéresis magnética afecta a la impedancia presentada por la bobina con respecto al circuito eléctrico asociado.

60 La impedancia de la bobina depende de la resistencia y la reactancia de la bobina.

65 Se necesita energía adicional para vencer la histéresis magnética del material magnético. La provisión de esta energía adicional contribuye a una mayor resistencia de la bobina. Por lo tanto, la resistencia de la bobina aumenta con el nivel de histéresis magnética en el núcleo.

La reactancia de la bobina depende de la inductancia de la bobina, que a su vez es proporcional a la permeabilidad magnética del material magnético. La permeabilidad magnética es igual a la tasa de variación de la densidad de flujo magnético con fuerza de magnetización, que depende de la forma y el tamaño del bucle de histéresis magnética. Un bucle de histéresis amplio da lugar a una gran tasa de variación de la densidad de flujo magnético con fuerza de magnetización y, por lo tanto, a valores más altos de permeabilidad magnética, cuando la corriente alterna se aproxima a su valor de pico positivo o negativo. Valores más altos de permeabilidad magnética dan lugar a una mayor inductancia de la bobina y, por lo tanto, a una mayor reactancia de la bobina.

En condiciones de funcionamiento normales, el material magnético blando del o de cada primer elemento magnético 12 tiene una permeabilidad magnética más alta que el material magnético duro del o de cada segundo elemento magnético 14 cuando el material magnético blando está en un estado no saturado. Esta diferencia de permeabilidad magnética permite por tanto que la mayor parte del flujo magnético fluya preferentemente a través del material magnético blando del o de cada primer elemento magnético 12 del núcleo 10a, 10b, minimizando así la cantidad de flujo magnético que fluye a través del material magnético duro del o de cada segundo elemento magnético 14 del núcleo.

Esto da lugar a una reducción de las pérdidas de energía asociadas a la histéresis en el núcleo 10a, 10b durante el funcionamiento normal del circuito eléctrico asociado ya que los materiales magnéticos blandos presentan niveles más bajos de histéresis magnética y, por tanto, un bucle de histéresis más estrecho, que los materiales magnéticos duros. Los bajos niveles de histéresis magnética presentados por los materiales magnéticos blandos acoplados con los niveles de corriente relativamente bajos también dan como resultado que la o que cada bobina presente una baja impedancia con respecto al circuito eléctrico asociado y que, por tanto, ejerza una influencia mínima en el flujo de la corriente alterna durante el funcionamiento normal del circuito eléctrico asociado.

En caso de una falta u otra condición de funcionamiento anómala que dé como resultado una alta corriente de falta en el circuito eléctrico asociado, los niveles de flujo magnético en el núcleo 10a, 10b aumentarán. El flujo magnético seguirá fluyendo preferentemente a través del o de cada primer elemento magnético 12 hasta que el material magnético blando del o de cada primer elemento magnético 12 se sature. La saturación del o de cada material magnético blando hace que la permeabilidad magnética relativa del primer elemento magnético 12 respectivo baje hasta uno.

En esta fase, el material magnético duro del o de cada segundo elemento magnético 14 tiene una mayor permeabilidad magnética que el material blando saturado del o de cada primer elemento magnético 12. Esto hace que el flujo magnético generado por la bobina que transporta corriente fluya preferentemente a través del material magnético duro del o de cada segundo elemento magnético 14. Este cambio de medio para el flujo magnético desde el o cada primer elemento magnético saturado 12 hacia el o cada segundo elemento magnético 14 da lugar a un cambio en la impedancia de bobina que actúa para restringir la corriente de falta en la corriente eléctrica asociada.

Esto se debe a que los mayores niveles de histéresis magnética en el material magnético duro acoplado con los niveles de corriente de falta relativamente altos dan lugar a un área más amplia de bucle de histéresis magnética y, por tanto, mayores tasas de variación de flujo magnético de densidad de flujo magnético con fuerza de magnetización, cuando la alta corriente de falta se acerca a su valor de pico positivo o negativo. Esto da lugar a una mayor resistencia y reactancia de la bobina, como se ha descrito anteriormente. De este modo, la bobina presenta una alta impedancia con respecto al circuito eléctrico asociado para limitar los valores de pico de la corriente de falta durante una falta u otra condición de funcionamiento anómala.

La provisión de material magnético duro en el núcleo 10a, 10b mejora la eficacia del limitador magnético de corriente de falta en lo que respecta a limitar la corriente de falta debido a una mayor impedancia de la bobina producida por niveles más altos de histéresis magnética en el material magnético duro en comparación con los materiales magnéticos blandos. En caso contrario, en ausencia de material magnético duro del o de cada segundo elemento magnético 14, la provisión de material magnético blando del o de cada primer elemento magnético 12 da lugar a una baja impedancia de bobina que puede ser insuficiente para limitar la corriente de falta.

Preferentemente, la alta impedancia presentada al circuito eléctrico asociado durante condiciones de falta es tal que el valor de pico de la corriente de falta se mantiene dentro de la gama de corriente del circuito eléctrico asociado para proteger los diversos componentes del circuito eléctrico asociado.

En realizaciones de la invención, el limitador de corriente puede estar diseñado para limitar la magnitud de la corriente de falta durante un corto periodo de tiempo antes de que se activen disyuntores externos para abrir el circuito y, por tanto, suprimir la corriente de falta.

Puesto que el flujo magnético solo fluye a través del material magnético duro del o de cada segundo elemento magnético 14 durante cortos periodos de tiempo, las pérdidas por histéresis y el aumento de temperatura resultantes en el material magnético duro se mantienen al mínimo.

5 De este modo, la provisión de una disposición sustancialmente paralela de primeros y segundos elementos magnéticos 12, 14 da como resultado un núcleo de limitador magnético de corriente de falta 10a, 10b que, durante el uso, presenta pérdidas por histéresis más bajas y un ligero aumento de temperatura durante el funcionamiento del limitador magnético de corriente de falta y, por tanto, puede usarse en combinación con circuitos eléctricos a altos niveles de corriente eléctrica. Por lo tanto, esto da lugar a una reducción del coste, el tamaño y el peso del hardware, ya que no existe el requisito de instalar un sistema de refrigeración o utilizar una topología de núcleo para afrontar las pérdidas por histéresis y el aumento de temperatura en el núcleo.

10 La disposición también proporciona un modo pasivo de controlar el flujo magnético a través del núcleo de limitador magnético de corriente de falta 10a, 10b. Esto puede eliminar la necesidad de un equipo de detección y/o de conmutación para proporcionar un control activo del flujo de magnético a través del núcleo 10a, 10b. La naturaleza pasiva del funcionamiento del limitador de corriente implica que puede ser posible minimizar o eliminar el uso de un equipo de detección y/o de control utilizado normalmente para supervisar y controlar la corriente en el circuito eléctrico asociado.

15 Preferentemente, el material magnético duro del o de cada segundo elemento magnético 14 se selecciona de modo que la fuerza de magnetización requerida para saturar el material magnético duro es mayor que la fuerza de magnetización que surge con la corriente de falta. Puede no ser deseable que el material magnético duro del o de cada segundo material magnético 14 se sature, ya que esto reduce su permeabilidad magnética, lo que da como resultado una baja impedancia de la bobina y, por tanto, puede provocar un funcionamiento defectuoso del limitador de corriente.

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Un núcleo de limitador magnético de corriente de falta (10b), que comprende primeros elementos magnéticos (12) y segundos elementos magnéticos (14), estando dispuestos los elementos magnéticos para definir una disposición sustancialmente paralela de elementos magnéticos, incluyendo cada primer elemento magnético (12) un material magnético blando e incluyendo cada segundo elemento magnético (14) un material magnético duro, donde los elementos magnéticos están dispuestos para formar capas primarias alternas de primeros y segundos elementos magnéticos, donde el material magnético blando en un estado saturado tiene una permeabilidad magnética más baja que el material magnético duro y donde el material magnético blando en un estado no saturado tiene una permeabilidad magnética más alta que el material magnético duro.
- 2.- Un núcleo de limitador magnético de corriente de falta según la reivindicación 1, en el que al menos un primer elemento magnético (12) está separado de al menos un segundo elemento magnético vecino (14) mediante un aislante.
- 3.- Un núcleo de limitador magnético de corriente de falta según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que al menos un primer elemento magnético (12) y/o al menos un segundo elemento magnético (14) incluye una pluralidad de capas secundarias de material magnético, estando separada cada capa secundaria de la o de cada capa secundaria vecina mediante un aislante.
- 4.- Un núcleo de limitador magnético de corriente de falta según cualquier reivindicación anterior, que incluye al menos un elemento magnético que presenta un diámetro interior hueco en el que una parte de al menos un primer elemento magnético está alojada dentro de un diámetro interior hueco de un segundo elemento magnético que presenta un diámetro interior hueco y/o una parte de al menos un segundo elemento magnético está alojada dentro de un diámetro interior hueco de un primer elemento magnético.
- 5.- Un núcleo de limitador magnético de corriente de falta según cualquier reivindicación anterior, que incluye al menos un elemento magnético que presenta un interior hueco y sellado, donde al menos un primer elemento magnético está alojado dentro de un interior hueco y sellado de un segundo elemento magnético y/o al menos un segundo elemento magnético está alojado dentro de un interior hueco y sellado de un primer elemento magnético.
- 6.- Un núcleo de limitador magnético de corriente de falta según cualquier reivindicación anterior, en el que cada elemento magnético es una varilla o una barra.
- 7.- Un núcleo de limitador magnético de corriente de falta según cualquier reivindicación anterior, en el que la sección transversal de cada elemento magnético tiene una forma circular, ovalada o poliédrica.
- 8.- Un núcleo de limitador magnético de corriente de falta según cualquier reivindicación anterior, en el que al menos un primer elemento magnético está separado de al menos un segundo elemento magnético vecino mediante un entrehierro, y en el que al menos un tal entrehierro contiene material eléctricamente aislante.
- 9.- Un limitador magnético de corriente de falta, que comprende uno o más núcleos de limitador magnético de corriente de falta según cualquier reivindicación anterior y al menos un conductor eléctrico enrollado alrededor de una parte del o de cada núcleo para definir una bobina.
- 10.- Un limitador magnético de corriente de falta según la reivindicación 9, en el que el o cada conductor eléctrico está enrollado alrededor de primeros y segundos elementos magnéticos.
- 11.- Un limitador magnético de corriente de falta según la reivindicación 10, en el que, durante el uso, el o cada conductor eléctrico transporta una corriente alterna.
- 12.- Un limitador magnético de corriente de falta según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en el que la o cada bobina se conecta de manera operativa, durante el uso, a uno o más circuitos eléctricos.
- 13.- Un limitador magnético de corriente de falta según la reivindicación 12, en el que la o cada bobina presenta una impedancia para minimizar una corriente de falta creada por una falta, durante el uso, en un circuito eléctrico.
- 14.- Un limitador magnético de corriente de falta según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en el que la o cada bobina tiene forma de solenoide o de toroide.

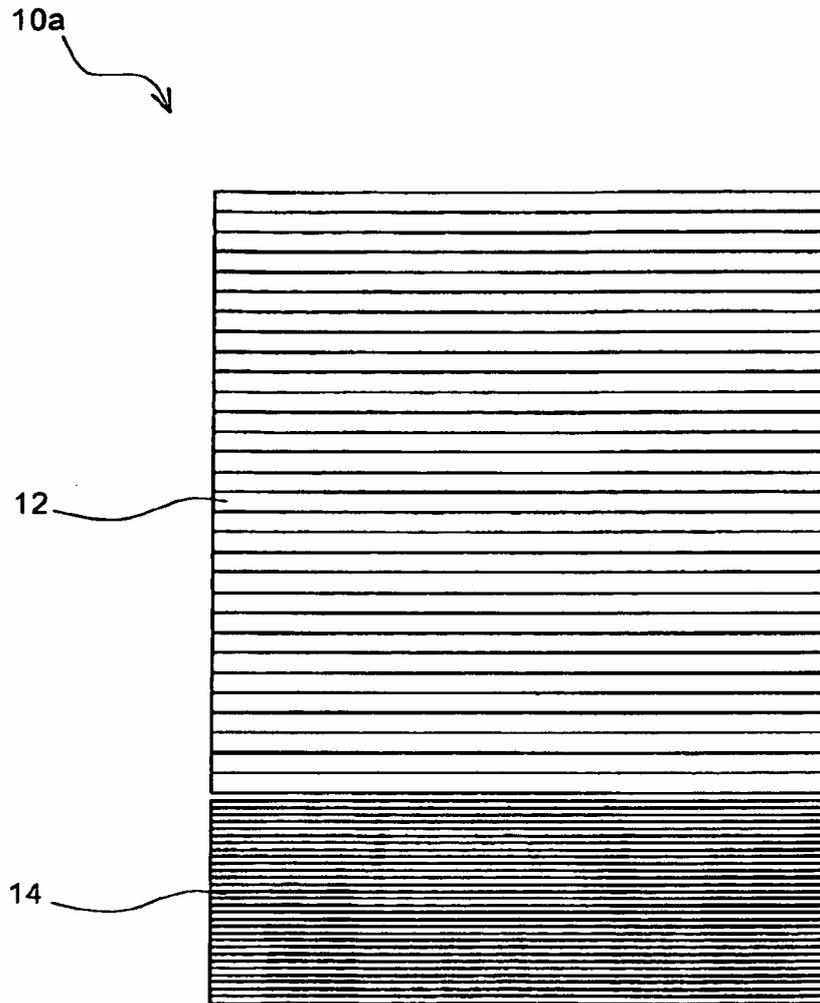


FIG. 1

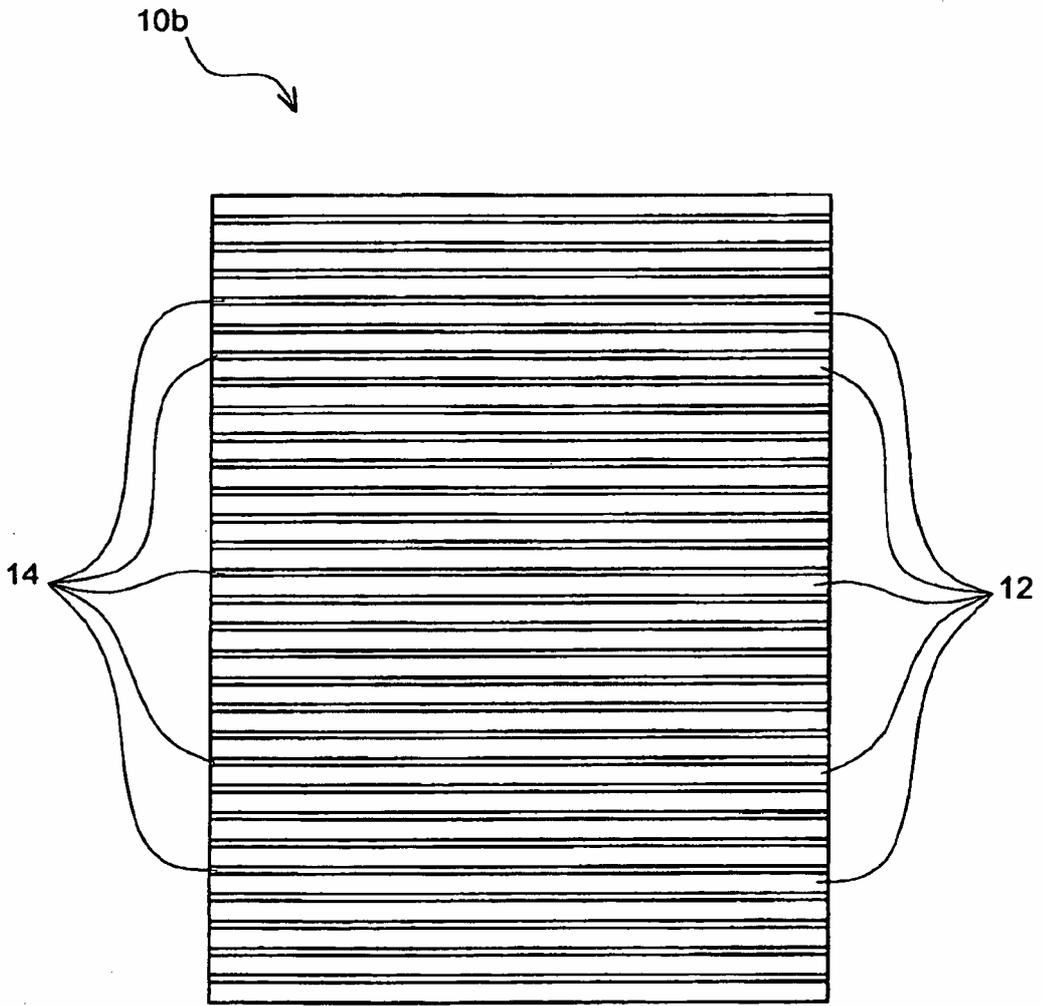


FIG. 2