

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 609 125**

51 Int. Cl.:

H01F 5/06	(2006.01) H01F 27/255	(2006.01)
H01F 27/32	(2006.01) H01F 41/073	(2006.01)
H01F 41/07	(2006.01)	
H01F 3/08	(2006.01)	
H01F 17/04	(2006.01)	
H01F 27/25	(2006.01)	
H01F 5/00	(2006.01)	
H01F 27/28	(2006.01)	
H01F 41/02	(2006.01)	
H01F 41/12	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.09.2013 PCT/EP2013/068682**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **20.03.2014 WO14040973**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.09.2013 E 13762443 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.10.2016 EP 2896056**

54 Título: **Inductor óptimo**

30 Prioridad:

14.09.2012 EP 12184479

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

18.04.2017

73 Titular/es:

**MAGCOMP AB (100.0%)
Akerivägen 8
241 38 Eslöv , SE**

72 Inventor/es:

**BJARNASEN, ÓSCAR H. y
CEDELL, TORD**

74 Agente/Representante:

BANDIN ABAD, Dora

Observaciones :

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 609 125 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

Inductor óptimo

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un serpentín, como se define en la reivindicación 1, y un inductor, como se define en la reivindicación 5. La invención se refiere, además, a un método para producir dicho serpentín y dicho inductor, como se define en las reivindicaciones 10 y 12.

10

Antecedentes de la técnica

15 Con la siempre creciente industria de la electrónica de potencia, los inductores han cobrado una mayor importancia en aplicaciones tales como la generación de potencia, la calidad de potencia, las unidades de CA, las unidades regenerativas, etc. A menudo, los inductores son componentes clave en los equipos usados y, a menudo, determinan la eficiencia y el rendimiento del equipo en cuestión. Un área especialmente problemática han sido las aplicaciones donde el inductor debe manejar al mismo tiempo una frecuencia fundamental de, por ejemplo, 50 Hz, mientras que al mismo tiempo filtra en la señal final las frecuencias más altas generadas, por ejemplo, por fuentes de alimentación de modo conmutado. De manera similar, la electrónica de potencia a menudo da origen a distorsiones armónicas dañinas que se han convertido en una de las mayores preocupaciones para la industria de la calidad de potencia hoy en día.

20

25 Normalmente, los inductores convencionales se producen mediante cualquier cable de enrollamiento en un conformador de serpentín, en el aire o en un núcleo de hierro (sólido, laminado o de ferrita). Además, el cable se enrolla alrededor del núcleo que, a menudo, tiene un entrehierro para controlar la permeabilidad con el fin de no saturar el material de núcleo. Esto da origen a un flujo de fuga magnético, pérdidas de energía y calentamiento del metal circundante. Si el serpentín se enrolla en los entrehierros, a menudo habrá pérdidas de dispersión de campo considerables, dando lugar a un punto caliente que puede ser difícil de enfriar. Además, los inductores tienen, normalmente, conformadores de serpentín, conductores y material de núcleo normalizados. Esto conduce inevitablemente a limitaciones en la libertad de diseño, dando como resultado diseños de inductores ineficaces y no optimizados.

30

35 Una primera etapa hacia la eliminación o mitigación de los problemas anteriores ha surgido durante la última década, con el nacimiento de una nueva tecnología de materiales. Esta nueva tecnología de materiales ofrece mayores posibilidades de adaptar, optimizar e integrar específicamente estos tipos de accionadores tanto en productos de consumo como en productos industriales. La tecnología de materiales en cuestión está compuesta de materiales metálicos magnéticos blandos con una cantidad variable de materiales aglutinantes y de relleno, denominados compuestos magnéticos blandos, SMC. La formación de estos componentes fabricados de SMC es de gran interés, puesto que las exigencias de una alta relación de empaquetado de metal y una libertad de diseño están en conflicto con los métodos de fabricación conocidos, especialmente desde la perspectiva del coste de producción. Un proceso de formación exitoso dará como resultado un componente inductivo, que en muchos sentidos es superior a los convencionales en términos de pérdidas más bajas, menor tamaño, lo que da como resultado una integración más compacta en el dispositivo/producto final. Un inductor SMC de este tipo se presenta en el documento de patente US2010/0219928.

40

45

Un serpentín de inductor de acuerdo con la técnica anterior se muestra en el documento de patente GB1079815A.

50 Además, muchos problemas siguen estando presentes en los inductores en función de la elección de materiales en términos de pérdidas de energía, problemas de calor y puntos calientes, sonidos molestos, provocados por las altas corrientes a frecuencias audibles, el uso de material innecesario e ineficaz, la menor eficiencia a frecuencias más altas, y la saturación a baja intensidad de flujo, etc.

55

El uso de inductores en la industria es cada vez mayor, y las demandas de inductores de mayor rendimiento aumentan con la demanda. Además, los inductores de alto rendimiento son relativamente caros. Por lo tanto, existe la necesidad de un inductor nuevo y mejorado que tenga un rendimiento mejorado con respecto a los problemas presentados anteriormente. El rendimiento mejorado de los inductores mejorados debería implementarse, preferentemente, de una manera rentable.

60

Sumario de la invención

60

Un objeto de la presente invención es mejorar el estado actual de la técnica para resolver los problemas anteriores, y para proporcionar un inductor mejorado con mejoras tanto en su serpentín como en su núcleo. Estos y otros objetos se logran mediante un serpentín de acuerdo con la reivindicación 1.

65

La conducción térmica de calor y la forma se logran por un medio de compresión que reduce sustancialmente los vacíos de aire o de gas presentes en el serpentín, lo que reduce las pérdidas de energía, y aumenta la compacidad

del serpentín. La compacidad de los serpentines en combinación con la forma toroidal aumenta el campo H del serpentín, lo que es especialmente importante para inductores más pequeños, donde es preferible un campo H adecuado para generar el flujo requerido en el material de núcleo.

- 5 El serpentín que tiene la forma toroidal es, preferentemente, un toro anular, que tiene una sección transversal sustancialmente circular. Esto es, además, una etapa de optimización del campo magnético por peso y tamaño del serpentín usada.

10 Además, el serpentín debe tener, preferentemente, una conductividad térmica de calor superior a 1 W/m*K, más preferentemente superior a 1,2, aún más preferentemente superior a 1,5 y lo más preferentemente superior a 2. Se logra una conductividad térmica más alta, entre otras formas, teniendo un alto volumen de metal con respecto al volumen total en el serpentín enrollado, también denominado factor de relleno, y reduciendo los vacíos de aire y de gas, reemplazándolos por ejemplo con material aislante y resina con una conductividad térmica más alta que el aire o el gas, mientras sigue teniendo el suficiente aislamiento eléctrico entre cada vuelta en el enrollamiento. La alta conductividad térmica es necesaria para que el calor generado por las pérdidas en el serpentín en funcionamiento pueda alcanzar fácilmente la superficie exterior del serpentín y, finalmente, la superficie exterior del inductor. Una temperatura de serpentín más baja no solo es beneficiosa para el rendimiento general del serpentín, sino que también es necesaria para lograr un mayor rendimiento de eficiencia, así como para preservar las propiedades de los materiales aislantes, aumentando de este modo su vida útil. Para lograr un alto factor de relleno, la sección transversal del cable del enrollamiento en cada posición se conforma, preferentemente, para ajustarse firmemente a las vueltas adyacentes del cable en el enrollamiento, reduciendo los vacíos sustancialmente huecos en el enrollamiento. Al evitar los vacíos en el enrollamiento, se reduce considerablemente el riesgo de ruptura dieléctrica de descarga parcial. La forma de la sección transversal de cada cable individual dentro del serpentín puede ser ventajosamente hexagonal, ya que esta es una forma natural de comprimir múltiples cables circulares que se encuentran estrechamente adyacentes entre sí como es el caso cuando se enrolla un cable circular y se comprime para eliminar vacíos de aire o de gas. Esto es así a excepción de la capa de cable externa que se conforma de manera óptima después de dar una forma externa redonda al serpentín completa, vista en una vista en sección transversal. El material conductor usado para el serpentín puede ser cualquier material adecuado para usar con un serpentín, preferentemente, cobre o aluminio.

30 La capa aislante que aísla unas partes de cable de las partes de cable adyacentes, es decir, que aísla una vuelta de cable de la siguiente vuelta de cable es, preferentemente, un material fabricado de papel aislante eléctrico y/o resina. Un papel aislante puede enrollarse alrededor del cable e impregnarse desde dentro por una resina semicurada o semicocida existente en el cable y/o sus torones, como se explica a continuación. Además, la resina se endurece, por ejemplo, mediante calor. Sin embargo, la capa aislante puede ser cualquier material eléctricamente aislante adecuado que sea lo suficientemente aislante como para que pueda fabricarse la capa delgada a la vez que conservar el suficiente aislamiento dieléctrico y capacitivo de vuelta a vuelta.

40 El cable puede consistir en uno o más torones eléctricamente aislados por separado en función de la corriente total y su frecuencia. Con torones de menor diámetro se reducirán las pérdidas relacionadas con el efecto piel.

45 La sección transversal de cada torón en cada posición se conforma para ajustarse firmemente a los torones adyacentes, reduciendo los vacíos en el cable, lo que es importante para la optimización del campo H y la conductividad térmica del serpentín. Además, esta sección transversal, con respecto al cable en su totalidad, es preferentemente hexagonal, como es natural cuando se comprimen los torones de sección transversal circular para eliminar cualquier hueco entre los mismos. Esto es así con la excepción de la capa de torón externa que se conforma de manera óptima después de dar forma externa al cable completo.

50 En los casos en los que el cable que constituye el serpentín comprende múltiples torones, el haz de torones se retuercen de manera óptima aproximadamente $360^\circ \pm 90^\circ$ para el serpentín completamente enrollado, reduciendo en gran medida de este modo los efectos de proximidad provocados en el serpentín por frecuencias más altas. Al usar los torones esencialmente paralelos mencionados anteriormente, se consigue un cable de Litz simple de una manera rentable. Preferentemente, los torones se aíslan eléctricamente mediante resina curada y resina semicurada, como se explica a continuación. El aislamiento eléctrico es muy delgado en comparación con la sección transversal de un torón y puede ser un recubrimiento de polímero delgado, una capa delgada de resina, etc. Como cada torón tiene un potencial similar, de manera óptima igual, el aislamiento no tiene que ser muy grueso.

60 Al usar una o más capas de resina semicurada en el aislamiento de torón, es posible curar la resina en la herramienta de formación de serpentín y, posteriormente, mantener la forma óptima del serpentín después de desmoldarla de la herramienta. En primer lugar, el serpentín se calienta hasta un nivel de temperatura necesario con el fin de endurecer suficientemente la capa(s) de resina semicurada sobre los torones. La resina semicurada también fluye hacia las cavidades de aire desde dentro del serpentín reduciendo los puntos calientes en el serpentín, lo que mejora las propiedades de conducción de calor. Además, la resina semicurada mejora las propiedades de fugas dieléctricas y capacitivas del papel aislante eléctrico exterior que puede usarse alrededor de cada cable completo.

En el exterior del serpentín, debe unirse una tercera capa aislante al material de núcleo magnético blando que se moldeará en el serpentín con el fin de mejorar aún más el aislamiento eléctrico. Es importante que este aislamiento garantice que ninguna partícula de núcleo esté en contacto directo con el material conductor para evitar un cortocircuito dieléctrico o entre los cables o desde el serpentín al material de núcleo. Para lograr este objetivo es preferible una impregnación de material de resina eléctricamente aislante. Esta tercera capa aislante también garantiza una superficie exterior uniforme o lisa, de manera que se evita que el flujo B localizado de alta intensidad cree puntos calientes. Además, se reduce la fuga capacitiva al núcleo magnético blando y a tierra si el material de núcleo está conectado a tierra.

Además, se logra un ejemplo, que no se reivindica, mediante un núcleo magnético, por ejemplo, para un inductor, en el que el núcleo está fabricado de un material compuesto moldeable magnético blando (SM2C) fabricado de partículas metálicas y un material aglutinante, estando dichas partículas en el intervalo de $1\ \mu\text{m}$ - $1000\ \mu\text{m}$, donde una cierta parte de las partículas, es decir, mayor que $150\ \mu\text{m}$, se recubre con una superficie cerámica para proporcionar un aislamiento eléctrico partícula a partícula, en el que la relación de empaquetado de metal de las partículas magnéticas y metálicas con respecto al volumen de núcleo total es de 0,5 - 0,9.

El núcleo es posible de moldear y, por lo tanto, adecuado para tener un serpentín incorporado en el mismo. El proceso de moldeo hace posible lograr un buen acoplamiento térmico entre el núcleo y el serpentín evitando vacíos de aire o de gas entre el serpentín y el núcleo. El material aglutinante puede ser un polímero, por ejemplo, epoxi o un aglutinante basado en cerámica. El núcleo que tiene dicha relación de empaquetado de volumen de metal tendrá buenas propiedades de conducción de calor y una alta resistividad en masa debido al aislamiento partícula a partícula. El aislamiento partícula a partícula también mejora las propiedades de alta frecuencia. Puesto que el núcleo se moldea, puede crearse cualquier forma del núcleo.

Además, es preferible que las partículas estén en el intervalo de $10\ \mu\text{m}$ - $800\ \mu\text{m}$, optimizando aún más las propiedades de núcleo y aumentando sus propiedades magnéticas. El tamaño elegido depende en cierta medida del uso previsto del núcleo. Las partículas más pequeñas dan mejores propiedades de alta frecuencia del núcleo.

Las partículas metálicas pueden tener una composición que consiste en: un 6,5 % - 7,5 % de Si, preferentemente un 6,8 % - 7 % de Si, y consistiendo las partículas restantes en Fe. El polvo puede producirse a través de una atomización de gas, dándole una forma de partícula casi esférica. Las partículas metálicas también pueden tener una composición que consiste en: un 8 % - 10 % de Si, preferentemente un 9 % de Si; un 5 % - 7 % de Al, preferentemente un 6 % de Al; y consistiendo las partículas restantes en Fe.

En un ejemplo adicional, que no se reivindica, se proporciona un método para producir el núcleo magnético que comprende las etapas de: colocar el material compuesto magnético blando fabricado de partículas metálicas y un material aglutinante en un molde, y disponer un campo magnético en el molde durante la fase de moldeo y/o de endurecimiento del material, alineando magnéticamente las partículas de núcleo con el campo H. El campo magnético se logra, preferentemente, durante la producción colocando un serpentín en el molde y haciendo pasar una corriente a través del serpentín. La característica importante para el núcleo es que las partículas en el material SM2C se alinean con el campo H del uso previsto del núcleo. Por lo tanto, se usa preferentemente el campo magnético en el que se produce el núcleo, es decir, en el caso de que se fabrique un inductor, se usa preferentemente un serpentín para inducir el campo magnético durante la fabricación. Si el núcleo se usa para una aplicación diferente, el campo magnético puede inducirse por otros medios.

Además, los objetos de la presente invención se logran mediante un inductor como el reivindicado en la reivindicación 5, en el que el serpentín descrito anteriormente se incorpora en un núcleo como el descrito anteriormente, en el que el serpentín tiene una capa eléctricamente aislante que cubre su área de superficie, y sustancialmente todas las partículas mencionadas en el núcleo se alinean magnéticamente con el campo H producido por el serpentín.

La combinación del serpentín mejorado, que se ha descrito anteriormente, con el núcleo mejorado, que se ha descrito anteriormente, da como resultado un diseño óptimo de un inductor. El serpentín se conforma y se construye de manera óptima y puede hacerse coincidir con un núcleo conformado de manera óptima, ya que el núcleo puede moldearse en cualquier forma. La forma óptima para el núcleo es una forma toroidal que cubre el serpentín. Además, el flujo B se distribuye uniformemente y se reducen las pérdidas debidas a un flujo de mayor intensidad. Adicionalmente, el material de núcleo se usa de manera óptima eliminando el exceso de material que afecta al tamaño y el peso del inductor. La ausencia de vacíos en el diseño, creando un acoplamiento térmico directo entre el núcleo y el serpentín, es una razón más para evitar los puntos calientes en el material de núcleo, a la vez que optimiza la conducción de calor, llevando el calor desde el serpentín y el núcleo al entorno ambiental que rodea al inductor.

Al tener las partículas en el núcleo alineadas con el campo H que se induce por la corriente que fluye a través del serpentín, mejora aún más el rendimiento del inductor, aumentando la permeabilidad y reduciendo las pérdidas. Las partículas magnéticamente alineadas se logran haciendo pasar una corriente a través del serpentín antes y/o durante la fase de moldeo y de endurecimiento de los núcleos. El campo magnético inducido por el serpentín

provocará fuerzas sobre las partículas en el núcleo para que se alineen con el campo magnético.

Además, es preferible que el serpentín esté dispuesto en una posición óptima para proporcionar sustancialmente el mismo flujo B en el material de núcleo en todas las direcciones, vistas desde la superficie de serpentín (el mismo volumen en todas las direcciones), teniendo sustancialmente la misma área de sección transversal del núcleo en el interior del serpentín hacia el eje central que en el exterior del núcleo, vista en una sección transversal a lo largo de un plano perpendicular al eje central (C) a través del centro del serpentín. Además, el material de núcleo tendrá un flujo B uniforme y homogéneo que optimiza las propiedades de pérdida en el material. Adicionalmente, el material de núcleo se usa de manera óptima eliminando el exceso de material que afecta al tamaño y el peso del inductor. La distancia desde el serpentín al borde exterior radial del núcleo (en una dirección perpendicular al eje central coincidente de la forma toroidal del núcleo y del serpentín) es menor que la distancia desde el serpentín al borde interior radial del núcleo, para proporcionar el mismo volumen de núcleo en el lado interior radial del serpentín que en el lado exterior.

Además, el serpentín puede estar desplazado de dicha posición óptima para proporcionar un flujo magnético mayor hacia el centro del inductor del serpentín que hacia la periferia del inductor. Esto reduce los campos dispersos generados por el inductor y también reduce la demanda de pequeñas tolerancias mecánicas durante la fabricación del inductor. El núcleo puede comprender, además, unas estructuras de aumento de superficie que modifican la forma sustancialmente toroidal para aumentar el área de superficie. Las estructuras de aumento de superficie pueden ser aletas u ondulaciones en la superficie del núcleo que hacen que la superficie exterior de núcleo se convierta en un disipador de calor. Un aspecto adicional de la presente invención es un método para producir un serpentín de acuerdo con el serpentín descrito anteriormente, que comprende las etapas de aplicar la capa aislante al cable, enrollar el cable alrededor del eje central (C), comprimir el enrollamiento en una forma de toro anular que tiene una sección transversal circular usando medios de compresión, aislar todo el serpentín externamente con un papel aislante eléctrico e impregnar todo el serpentín con una resina aislante eléctrica. La compresión del cable conformará el cable, llenando de este modo los vacíos en el enrollamiento y aumentando el rendimiento del inductor. Además, la compresión puede conducir a una deformación plástica del material conductor. La conformación del cable junto con la deformación plástica hace posible conformar el serpentín en la forma preferida y obtener la conducción de calor deseada. El enrollamiento se comprime, preferentemente, usando una presión isostática de más de 65 MPa para eliminar sustancialmente los vacíos en el serpentín y obtener la forma deseada.

Además, puede aplicarse una corriente al cable durante dicha compresión. El calor resultante de la corriente que fluye a través del serpentín curará las capas de resina semicocidas en el aislamiento de cable permitiendo una forma de serpentín óptima mantenida después de la etapa de compresión. La resina semicocida también actúa para mejorar las propiedades de aislamiento eléctrico del papel aislante eléctrico que puede colocarse en cada cable.

Un ejemplo adicional, que no se reivindica, es un método para producir un núcleo magnético, donde la corriente se hace pasar a través del serpentín, antes y/o durante la fase de moldeo y/o de endurecimiento del material, alineando magnéticamente las partículas de núcleo con el campo H del serpentín. Esta alineación mejora aún más el rendimiento del inductor, aumentando la permeabilidad y reduciendo las pérdidas. El inductor fabricado con un serpentín esencialmente en forma de toro dentro de un SM2C moldeable (compuesto moldeable magnético blando) tiene muchas ventajas.

Con un núcleo magnético blando moldeable, las propiedades geométricas pueden ser óptimas con respecto a la permeabilidad del núcleo magnético blando. El mayor beneficio técnico de este diseño es que conduce a una trayectoria de flujo teóricamente casi óptima para el campo electromagnético en el inductor, evitando esquinas o ángulos innecesarios que crean puntos calientes que reducen la vida útil del material aislante y crean pérdidas en el inductor. Además, es un diseño compacto y homogéneo con grandes propiedades de distribución y de disipación de calor. La forma del toro del serpentín también conduce al grado más alto de inducción para unas propiedades de material de núcleo determinadas, ya que las esquinas o los ángulos conducen a una saturación localizada. El alto grado de compacidad del serpentín en forma de toro, como se ha descrito anteriormente, aumenta aún más el campo H, permitiendo de manera considerable que un inductor considerablemente menor reduzca los materiales necesarios, lo que da como resultado unas unidades más pequeñas, ligeras y rentables con una gran conductividad de calor.

El uso del material de núcleo SM2C es una parte crucial de la invención. Permite en una etapa de producción simple formar/crear la forma de toro óptima del núcleo evitando material innecesario fuera de la trayectoria de flujo. El acoplamiento térmico directo entre el serpentín y el material de núcleo logrado moldeando el material directamente sobre la superficie del serpentín aislada permite que las pérdidas de calor generadas en el enrollamiento se distribuyan fácilmente a la superficie exterior del inductor donde pueden enfriarse. Además, en la etapa de moldeo es sencillo crear aletas u ondulaciones de enfriamiento para aumentar aún más las propiedades de enfriamiento del inductor cuando sea necesario.

Breve descripción de los dibujos

Los objetos anteriores de la presente invención, así como otras características y ventajas a modo de ejemplo, se apreciarán más plenamente por referencia a la siguiente descripción detallada ilustrativa y no limitante de las realizaciones preferidas de la presente invención, cuando se consideran junto con los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una vista en perspectiva de un serpentín para un inductor;

la figura 2a es una vista en sección transversal del serpentín de la figura 1;

la figura 2b muestra una vista ampliada de la vista en sección transversal de la figura 2a que muestra los torones del cable; y

la figura 3 es una vista en perspectiva de un inductor que incluye un serpentín de acuerdo con la figura 1 y la figura 2, integrada en un núcleo de acuerdo con la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas de la invención

La figura 1 muestra una vista en perspectiva de un serpentín 1 para un inductor. El serpentín 1 tiene forma de toro y está constituido por un cable enrollado 2, que se ve mejor en la sección transversal del serpentín mostrado en la figura 2a. El serpentín está recubierto o enrollado con una capa aislada 11. En la figura 2a puede verse cómo el cable 2 tiene una capa aislante 3 y cómo se han comprimido las vueltas de cable en el serpentín 1, de manera que la forma de cada vuelta de cable interior es hexagonal, llenando sustancialmente todo el espacio, de manera que los vacíos se reducen sustancialmente. Además, la figura 2a muestra cómo se forma la capa de cable externa del serpentín después de dar la forma toroidal deseada a todo el serpentín, de manera que la capa de cable externa sigue la forma de toro toroidal lisa del serpentín 1. La figura 2b muestra una vista ampliada de la vista en sección transversal de la figura 2a que muestra los torones 4 del cable 2. Los torones 4 del cable 2 están recubiertos con una capa delgada 5 de, por ejemplo, un polímero o una resina, para aislar los torones unos de otros.

La figura 3 es una vista en perspectiva de un inductor 6 que incluye un serpentín 1 de acuerdo con la figura 1 y la figura 2a, b, integrado en un núcleo 7 de acuerdo con la presente invención. Pueden verse los extremos 8, 9 del cable que está enrollado en el serpentín 1. Estos extremos 8, 9 se usan para conectar el inductor durante el funcionamiento del inductor. El núcleo 7 tiene una superficie que se forma en un dissipador de calor 10, para aumentar el área de superficie y, por lo tanto, aumentar las capacidades de disipación de calor del inductor. En la figura 3 también puede verse que la distancia desde el serpentín no está centrada en el núcleo, vista en una sección transversal del núcleo. La distancia D2 del material de núcleo desde el serpentín a su extremo central es mayor que la distancia D1 desde el serpentín al borde periférico del núcleo. Por lo tanto, está presente sustancialmente el mismo volumen del material de núcleo en el lado central del serpentín que en el exterior del serpentín (lejos del eje central del inductor).

A continuación, se describirá en detalle la invención para explicar la función del diseño de inductor óptimo.

Serpentín

El serpentín está compuesto de torones aislados por separado de, por ejemplo, cobre o aluminio. El aislamiento eléctrico en cada torón es muy delgado en comparación con el área de sección transversal total del torón y puede consistir, por ejemplo, en un recubrimiento de polímero delgado. Esto permite un alto factor de relleno del material conductor, a la vez que mantiene unas bajas pérdidas de efecto piel a altas frecuencias.

Los torones, colocados juntos, formarán un cable. El cable puede consistir en un torón o muchos torones dependiendo, entre otras cosas, de la corriente total y de su contenido de frecuencia. Con torones de menor diámetro se reducirán las pérdidas relacionadas con el efecto piel y las pérdidas por efecto de proximidad.

Al poner todos los torones en paralelo y, a continuación, retorcer el paquete con aproximadamente una vuelta completa ($360 \text{ grados} \pm 90^\circ$) por serpentín, se reducirá sustancialmente el efecto de proximidad. Sin embargo, cuando los torones se giran demasiado afectan negativamente al factor de relleno del cable y crean posibles daños al recubrimiento aislante en los casos en los que se aplica presión al serpentín.

Debe unirse una capa eléctricamente aislante alrededor de cada cable completo. La capa aislante en el cable debe ser lo suficientemente resistente como para soportar las presiones mecánicas resultantes del enrollamiento del cable para formar un serpentín en forma de toro de múltiples vueltas. Este material evita el cortocircuito dieléctrico entre los cables y evita las fugas capacitivas de cable a cable. Para ampliar aún más las propiedades del serpentín, especialmente la conducción de calor y el factor de relleno de materiales conductores, puede comprimirse el serpentín. Al usar una o más capas de resina semicuradas sobre el aislamiento de torón, es posible curar la resina en la herramienta de formación de serpentines y, posteriormente, mantener la forma óptima del serpentín después de desmoldarlo de la herramienta. El serpentín se calienta, por ejemplo, haciendo pasar una corriente elevada a

través del serpentín, de manera que la resina semicurada fluirá hacia las cavidades de aire entre los torones y los cables, mejorando la conductividad de calor y las propiedades de fugas dieléctricas y capacitivas.

5 Una tercera capa aislante adicional 11 también se une al exterior del serpentín para aislar el serpentín del entorno exterior, en esta realización un núcleo moldeado. Esto garantiza que la capa aislante cubra todo el serpentín, usándose una resina en la capa aislante. La resina también hará que la superficie exterior del serpentín sea lisa, siguiendo la forma de toro del serpentín y adaptándose bien a su campo magnético, evitando de este modo los puntos calientes.

10 Núcleo magnético blando

El núcleo magnético blando que se moldea alrededor del serpentín también tiene esencialmente forma de toro. La forma del núcleo también puede estar equipada con, por ejemplo, orificios de montaje y bridas térmicas, véase la figura 3.

15 La forma esencialmente de toro del núcleo tiene la ventaja de las tecnologías existentes de utilizar de manera óptima la cantidad exacta de material de núcleo, eliminar cualquier exceso de material innecesario que no sea necesario para la trayectoria de flujo de los serpentines y la función óptima del inductor. Esto reduce los costes de material, así como el peso y el tamaño necesarios para el inductor.

20 La permeabilidad del SM2C puede ajustarse para adaptarse al diseño. Al hacer pasar la corriente a través del serpentín, durante la fase de moldeo y de endurecimiento del material, es posible mejorar su permeabilidad en un 10-15 %. Además, el campo H del serpentín alinea de manera óptima las partículas de polvo circundantes en la misma dirección o una dirección similar a la de la trayectoria de flujo de cada unidad individual. Mantener la corriente durante el endurecimiento garantiza que las partículas mantengan su posición alterada y optimizada. Esto crea una trayectoria más fácil para que el flujo pase a través, lo que aumenta la inductancia y disminuye las pérdidas de los inductores.

25 Preferentemente, el núcleo se coloca de una manera axialmente simétrica, de modo que el área del material de núcleo, perpendicular a las líneas de flujo, es más o menos la misma en todas las partes del inductor.

30 La distribución del tamaño de partícula se elige para proporcionar un buen empaquetado del polvo en combinación con unas propiedades magnéticas estáticas y dinámicas optimizadas.

35 Para evitar la conducción eléctrica partícula a partícula en el núcleo, las partículas se recubren con una capa aislante delgada antes del proceso de moldeo. La capa aislante puede estar fabricada de, por ejemplo, nanopartículas cerámicas, lo que mejora la resistividad volumétrica del núcleo moldeado y, por lo tanto, reduce las corrientes parásitas inducidas por alta frecuencia.

REIVINDICACIONES

1. Serpentín (1) adecuado para un inductor, compuesto por un cable de metal (2) enrollado circularmente alrededor de un eje central (C), en el que
5 el cable tiene una capa eléctricamente aislante (3) que aísla cada vuelta del cable en el enrollamiento de las vueltas contiguas,
dicho cable (2) comprende uno o más torones eléctricamente aislados (4), retorciéndose los múltiples torones (4) de manera óptima aproximadamente $360^\circ \pm 90^\circ$ para el serpentín completamente enrollado,
10 la forma del enrollamiento completo, que constituye el serpentín (1), es sustancialmente toroidal, teniendo una sección transversal sustancialmente elíptica en un plano perpendicular a la dirección de enrollamiento del cable, y el serpentín enrollado tiene un factor de relleno, que es un volumen de metal con respecto al volumen total, a un nivel tal que la conducción térmica de calor del serpentín es superior a $0,8 \text{ W/m}^*\text{K}$.
2. Serpentín de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la forma toroidal es un toro anular que tiene una sección transversal sustancialmente circular.
3. Serpentín de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que los torones (4) están eléctricamente aislados por una resina curada o una resina curada y semicurada (5).
- 20 4. Serpentín de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que la sección transversal de cada torón (4) en cada posición se conforma para ajustarse firmemente a los torones adyacentes, reduciendo sustancialmente los vacíos en el cable.
5. Inductor (6) que comprende un serpentín (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, estando dicho serpentín (1) integrado en un núcleo (7),
25 en el que el núcleo (7) está fabricado de un material compuesto magnético blando fabricado de partículas metálicas y un material aglutinante,
en el que el serpentín (1) tiene una capa eléctricamente aislante (11) que cubre su área de superficie, y las partículas de núcleo están magnéticamente alineadas con el campo H del serpentín.
- 30 6. Inductor de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el núcleo (7) tiene una forma toroidal que cubre el serpentín.
7. Inductor de acuerdo con la reivindicación 5 o 6, en el que el serpentín (1) está dispuesto en una posición óptima para proporcionar sustancialmente el mismo flujo magnético en el material de núcleo en todas las direcciones vistas desde la superficie de serpentín, teniendo sustancialmente la misma área de sección transversal del núcleo en el interior del serpentín hacia el eje central que en el exterior del núcleo, vista en una sección transversal a lo largo de un plano perpendicular al eje central (C) a través del centro del serpentín.
- 35 8. Inductor de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el serpentín (1) está desplazado de dicha posición óptima para proporcionar un mayor flujo magnético hacia el centro del inductor del serpentín que hacia la periferia del inductor.
- 40 9. Inductor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 5-8, en el que el núcleo (7) comprende unas estructuras de aumento de superficie (10) que modifican la forma sustancialmente toroidal para aumentar el área de superficie.
- 45 10. Método de producción de un serpentín (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, que comprende las etapas de
aplicar la capa aislante al cable (2),
50 enrollar el cable (2) alrededor del eje central (C),
comprimir el enrollamiento en una forma de toro anular que tiene una sección transversal circular usando medios de compresión.
11. Método de producción de un serpentín (1) de acuerdo con la reivindicación 10, en el que se aplica una corriente al cable (2) durante la compresión.
- 55 12. Método de producción de un inductor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6-9, que comprende las etapas de:
- 60 colocar el material compuesto magnético blando fabricado de partículas metálicas y un material aglutinante en un molde, y
disponer un campo magnético en el molde durante la fase de moldeo y/o de endurecimiento del material, alineando magnéticamente las partículas de núcleo con el campo H.

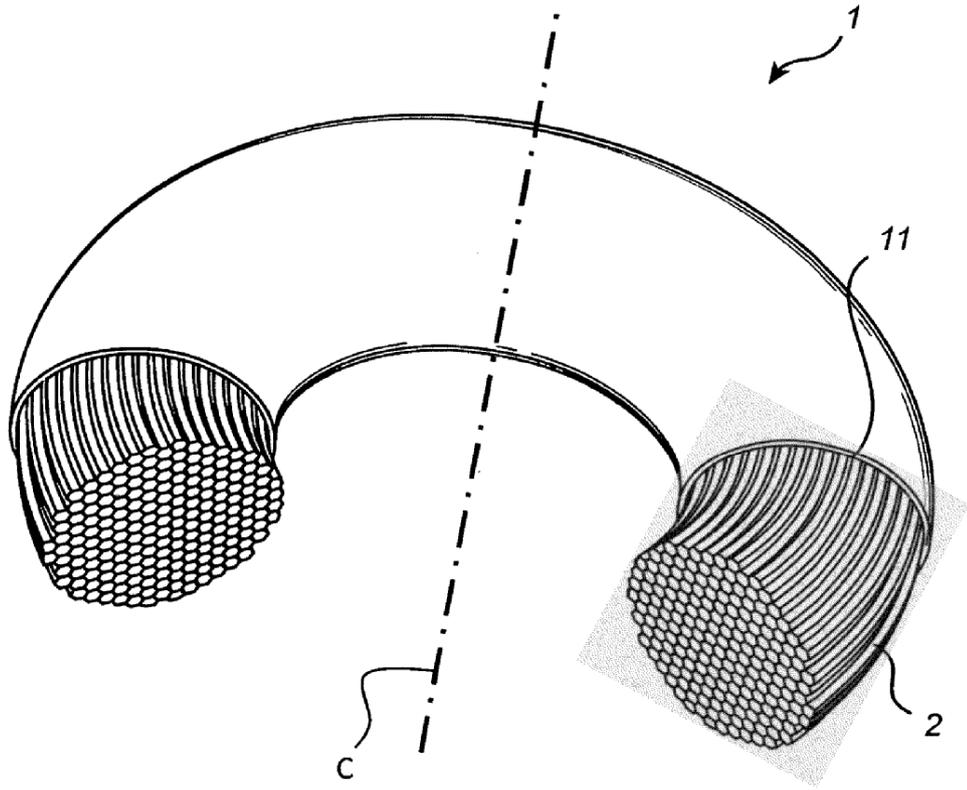


Fig. 1

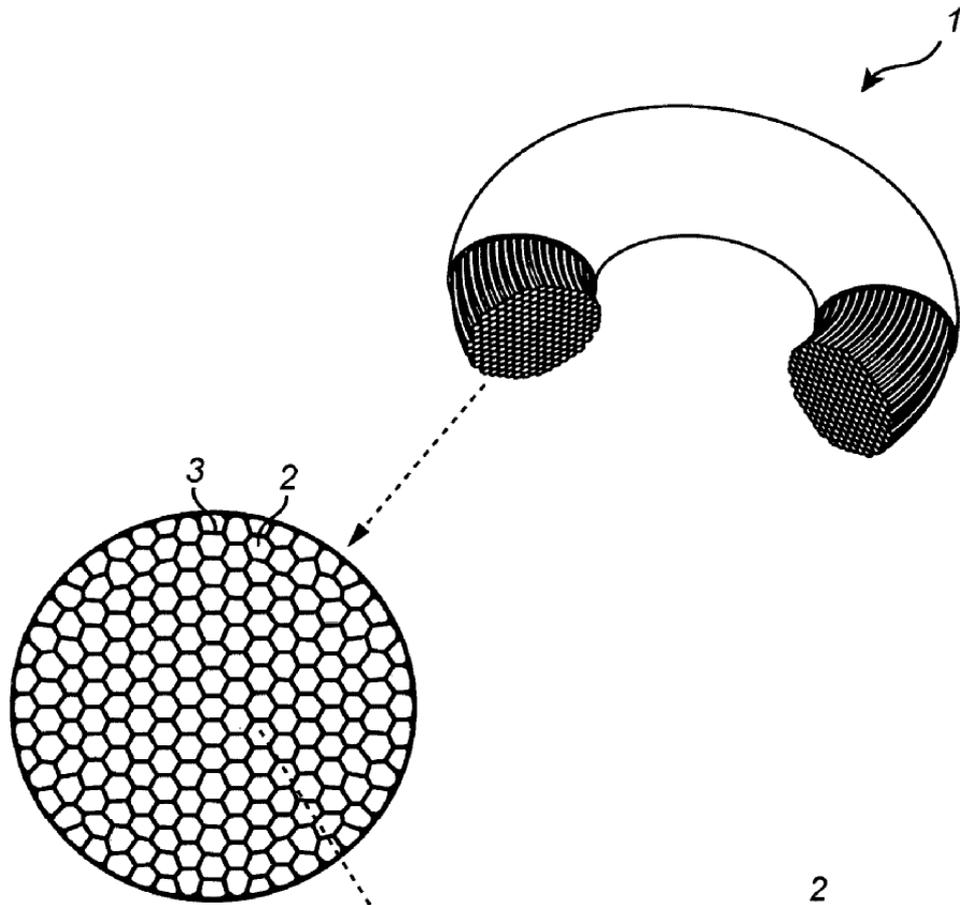


Fig. 2a

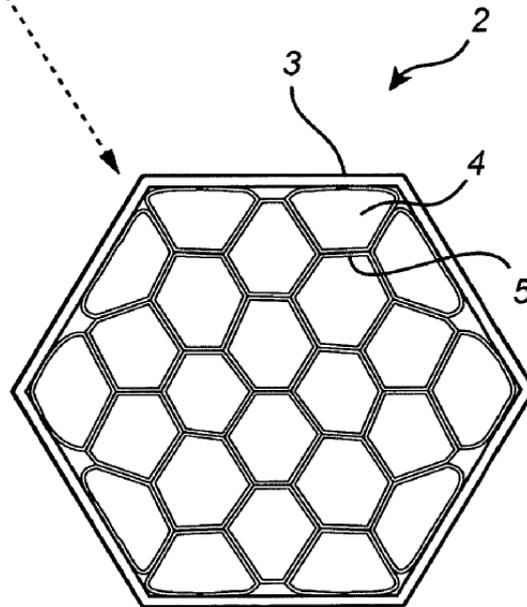


Fig. 2b

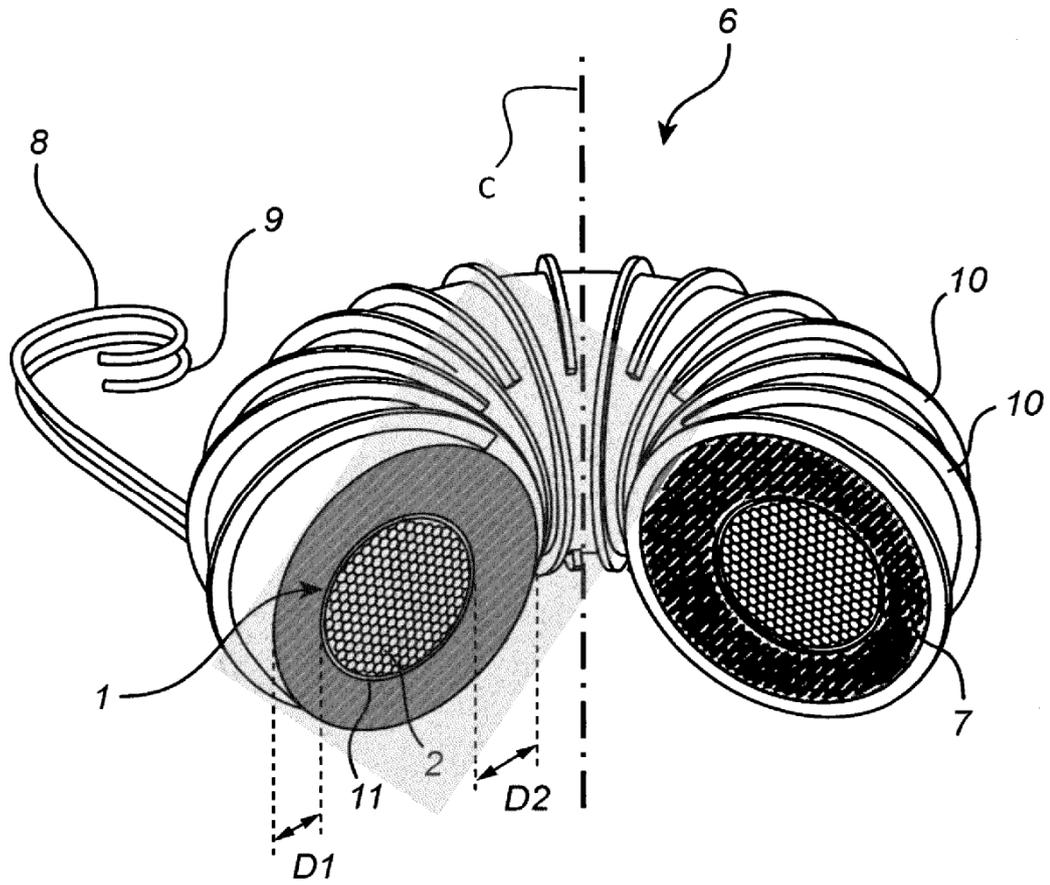


Fig. 3