

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 401 298**

51 Int. Cl.:

H01F 27/08 (2006.01)

H01F 27/28 (2006.01)

H01F 27/32 (2006.01)

H01F 41/06 (2006.01)

H01F 41/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.05.2007 E 07795501 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.12.2012 EP 2052393**

54 Título: **Transformador de devanado de disco con distribución de voltaje de impulso y refrigeración mejoradas y su método de fabricación**

30 Prioridad:

27.07.2006 US 494087

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

18.04.2013

73 Titular/es:

**ABB TECHNOLOGY AG (100.0%)
AFFOLTERNSTRASSE 44
8050 ZÜRICH, CH**

72 Inventor/es:

**PAULEY JR., WILLIAM E.;
SARVER, CHARLIE H. y
HORTON JR., RUSH B.**

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 401 298 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

Transformador de devanado de disco con distribución de voltaje de impulso y refrigeración mejoradas y su método de fabricación

5

Antecedentes de la invención

[0001] Esta invención se refiere a transformadores y más particularmente a transformadores con una bobina de devanado de disco.

10

[0002] Como bien se sabe, un transformador convierte la electricidad de un voltaje en electricidad de otro voltaje, ya sea de valor superior o inferior. Un transformador consigue esta conversión de voltaje usando una bobina primaria y una bobina secundaria, cada una de ellas devanada en un núcleo ferromagnético y que comprende varios giros de un conductor eléctrico. La bobina primaria se conecta a una fuente de voltaje y la secundaria se conecta a una carga. La proporción de giros de la bobina primaria con respecto a los giros de la secundaria ("proporción de giros") es la misma que la proporción del voltaje de la fuente con respecto al voltaje de la carga. Para formar bobinas se utilizan dos técnicas principales de devanado, a saber devanado de capa y devanado de disco. El tipo de técnica de devanado que se utiliza para formar una bobina se determina principalmente por el número de giros de la bobina y la corriente de la bobina. Para devanados de alta tensión con un gran número de giros requeridos, se usa habitualmente la técnica de devanado de disco, mientras que para devanados de baja tensión con un número menor de giros requeridos, se usa habitualmente la técnica de devanado de capa.

15

20

[0003] En la técnica de devanado de capa, los giros conductores requeridos para una bobina se devanan en una o más capas conductoras concéntricas conectadas en serie, con los giros de cada capa conductora devanados uno al lado del otro a lo largo de la longitud axial de la bobina hasta que la capa conductora está completa. Se dispone una capa de material aislante entre cada par de capas conductoras. Los conductos de aire que se extienden axialmente también se pueden formar entre pares de capas conductoras. En la patente de EEUU N°: 7.023.312, los conductos de refrigeración preformados se insertan entre las capas conductoras durante el devanado de una bobina.

25

[0004] En la técnica de devanado de disco, los giros conductores requeridos para una bobina se devanan en una pluralidad de discos dispuestos en serie a lo largo de la longitud axial de la bobina. En cada disco, los giros se devanan en una dirección radial, uno encima del otro, es decir, un giro por capa. Los discos se conectan en una relación de circuito en serie y se devanan típicamente alternando desde el interior hacia el exterior y desde el exterior hacia el interior, de modo que los discos se puedan formar desde el mismo conductor. Un ejemplo de tal devanado alterno se muestra en la patente estadounidense n°: 5.167.063.

30

35

[0005] La patente estadounidense n°: 3.464.043 divulga un devanado de transformador eléctrico con una pluralidad de bobinas de discos axialmente distanciados de un giro por capa que están eléctricamente conectadas en serie.

40

[0006] En un transformador con una bobina convencional de devanado de disco, la capacitancia entre los discos es suficientemente baja en comparación con la capacitancia entre los discos y la tierra. Como resultado, cuando el transformador está sujeto a un fuerte impulso frontal de onda o voltaje transitorio, tal y como puede ocurrir como resultado del impacto de un rayo, una importante distribución de voltaje no lineal sucede a lo largo de la longitud axial de la bobina con un gradiente de voltaje altísimo en los primeros giros adyacentes al extremo de alta tensión. Este gradiente de alto voltaje produce importantes tensiones de dieléctrica locales.

45

[0007] Para aumentar la capacitancia en serie y mejorar la distribución de voltaje de impulso, los discos pueden estar intercalados, es decir, se pueden intercalar los giros de los discos adyacentes. Un ejemplo de un transformador con discos intercalados se muestra en la patente de EEUU N°: 3.958.201. No obstante, formar discos intercalados es complicado y reduce el espacio libre entre los discos, lo que afecta de forma adversa a la refrigeración.

50

[0008] Por lo tanto, sería deseable proporcionar un transformador con bobinas de devanado de disco que tengan una distribución de voltaje de impulso y una refrigeración mejoradas. La presente invención se refiere a tal transformador y a un método para fabricar tal transformador.

55

Resumen de la invención

[0009] De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método para fabricar un transformador. Conforme al método, se forma una bobina de devanado de disco formando una primera capa conductora con una pluralidad de devanados de disco conectados en serie dispuestos en una dirección axial de la bobina de devanado de disco; cada uno de los devanados de disco comprende un devanado conductor en una pluralidad de giros concéntricos. El método se caracteriza por la formación de una segunda capa conductora sobre la primera capa conductora. La segunda capa conductora comprende una pluralidad de devanados de disco conectados en serie dispuestos en una dirección axial de la bobina de devanado de disco; cada uno de los devanados de disco comprende un devanado conductor en una pluralidad de giros concéntricos.

60

65

[0010] También se proporciona conforme a la presente invención un transformador que comprende una bobina de devanado de disco con una primera capa conductora que comprende una pluralidad de devanados de disco conectados en serie dispuestos en una dirección axial de la bobina de devanado de disco; cada uno de los devanados de disco comprende un devanado conductor en una pluralidad de giros concéntricos. El transformador se caracteriza por el hecho de que la bobina de devanado de disco comprende una segunda capa conductora dispuesta sobre la primera capa conductora. La segunda capa conductora comprende una pluralidad de devanados de disco conectados en serie y dispuestos en una dirección axial de la bobina de devanado de disco; cada uno de los devanados de disco comprende un devanado conductor en una pluralidad de giros concéntricos.

[0011] Las formas de realización preferidas se definen en las reivindicaciones anexas.

Breve descripción de los dibujos

[0012] Las características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con respecto a la siguiente descripción, reivindicaciones adjuntas y dibujos anexos donde:

[0013] La fig. 1 es una vista en sección esquemática de un transformador realizado de acuerdo con la presente invención;

[0014] La fig. 2 muestra una vista en perspectiva lateral de una bobina del transformador formándose en un mandril de embobinado;

[0015] La fig. 3 muestra una vista final en perspectiva de una parte de la bobina formándose en el mandril;

[0016] La fig. 4 muestra una vista en perspectiva de la bobina cuando está completamente construida, con una parte de la bobina cortada para mostrar una sección transversal de una parte de la bobina;

[0017] La fig. 5 muestra una vista aumentada de una parte de la sección transversal de la bobina mostrada en la fig. 4 donde la bobina tiene devanados de disco con hendiduras;

[0018] La fig. 6 muestra una vista aumentada de una parte de la sección transversal de la bobina mostrada en la fig. 4 donde la bobina tiene devanados de disco que se devanan de forma continua;

[0019] La fig. 7 muestra una vista aumentada de una parte de una sección transversal de una bobina realizada conforme a una segunda forma de realización de la presente invención;

[0020] La fig. 8 muestra una vista aumentada de una parte de una sección transversal de una bobina realizada conforme a una tercera forma de realización de la presente invención;

[0021] La fig. 9 muestra una vista aumentada de una parte de una sección transversal de una bobina realizada conforme a una cuarta forma de realización de la presente invención;

[0022] La fig.10 muestra una vista aumentada de una parte de una sección transversal de una bobina realizada conforme a una quinta forma de realización de la presente invención;

[0023] La fig. 11 muestra una vista en perspectiva frontal de un conducto de refrigeración montado en una bobina realizada conforme a la presente invención;

[0024] La fig. 12 muestra una vista en perspectiva de tapones para inserción temporal en el conducto de refrigeración; y

[0025] La fig. 13 muestra una vista transversal en perspectiva de una bobina realizada conforme a la presente invención siendo encapsulada en un resina aislante.

Descripción detallada de las formas de realización ilustrativas

[0026] Se debe señalar que en la descripción detallada que sigue, los componentes idénticos tienen los mismos números de referencia, independientemente de si se muestran en diferentes formas de realización de la presente invención. También debe señalarse que para hacer una divulgación clara y concisa de la presente invención, los dibujos pueden no ser necesariamente a escala y algunas características de la invención se pueden mostrar de una forma un tanto esquemática.

[0027] Con respecto a la Fig. 1, se muestra una vista en sección esquemática de un transformador trifásico 10 que contiene una bobina realizada conforme a la presente invención. El transformador 10 comprende tres ensamblajes de bobina 12 (uno para cada fase) montados en un núcleo 18 y encerrados dentro de un alojamiento ventilado externo 20. El núcleo 18 está compuesto por metal ferromagnético y generalmente tiene forma rectangular. El núcleo 18 incluye un par de patas externas 22 que se extienden entre un par de horquillas 24. Una pata interna 26 también se extiende entre

las horquillas 24 y está dispuesta a una distancia uniforme considerable de las patas externas 22 y entre ellas. Los ensamblajes de bobina 12 están montados y dispuestos alrededor de las patas externas 22 y la pata interna 26, respectivamente. Cada ensamblaje de bobina 12 comprende una bobina de alto voltaje y una bobina de bajo voltaje, ambas en forma cilíndrica. Si el transformador 10 es un transformador reductor, la bobina de alto voltaje es la bobina primaria y la bobina de bajo voltaje es la secundaria. Alternativamente, si el transformador 10 es un transformador elevador, la bobina de alto voltaje es la secundaria y la bobina de bajo voltaje es la bobina primaria. En cada ensamblaje de bobina 12, la bobina de alto voltaje y la bobina de bajo voltaje se pueden montar concéntricamente, con la bobina de bajo voltaje dispuesta dentro, en dirección radial hacia adentro, de la bobina de alto voltaje, como se muestra en la Fig. 1. Alternativamente, la bobina de alto voltaje y la bobina de bajo voltaje se pueden montar de modo que estén separadas axialmente, con la bobina de bajo voltaje montada por encima o por debajo de la bobina de alto voltaje. Conforme a la presente invención, cada bobina de alto voltaje comprende al menos una primera capa conductora y una segunda capa conductora, donde cada una de las primeras y segundas capas conductoras comprende uno o más devanados de disco y donde la primera capa conductora está dispuesta en dirección radial hacia adentro de la segunda capa conductora.

[0028] El transformador 10 es un transformador de distribución y tiene una capacidad de kVA en un intervalo desde aproximadamente 112,5 kVA a aproximadamente 15,000 kVA. El voltaje de la bobina de alto voltaje está en un intervalo desde aproximadamente 600 V a aproximadamente 35 kV y el voltaje de la bobina de bajo voltaje está en un intervalo desde aproximadamente 120 V a aproximadamente 15 kV.

[0029] Aunque el transformador 10 se muestra y se describe como un transformador de distribución trifásica, se debe entender que la presente invención no se limita a transformadores trifásicos o transformadores de distribución. La presente invención se puede utilizar en transformadores monofásicos y otros transformadores que no sean transformadores de distribución.

[0030] Las figuras 2, 3, 4, 5 y 6 muestran una bobina de alto voltaje 30 construida conforme a la presente invención. Las figuras 2 y 3 muestran la bobina 30 formándose en un mandril de devanado 32. La fig. 4 muestra una vista en perspectiva de la bobina 30 cuando está completamente construida, con una parte de la bobina 30 cortada para mostrar una sección transversal de la bobina 30. Se muestran vistas aumentadas de partes de la sección transversal en las figuras 5 y 6. La bobina 30 se puede usar en el transformador 10.

[0031] Inicialmente, una primera capa aislante 34 (mostrada en las figuras 5 y 6) está dispuesta sobre el mandril de devanado 32. La primera capa aislante 34 comprende una lámina o red de material de pantalla 36, que está compuesta por fibras de vidrio tejidas en una rejilla con aberturas rectangulares. Más específicamente, el material de pantalla 36 tiene fibras de vidrio dispuestas de forma longitudinal, separadas entre sí que agregan fibras de vidrio dispuestas lateralmente, separadas entre sí a intersecciones que forman el ángulo de las aberturas rectangulares. Las fibras de vidrio se pueden impregnar con una resina aislante, tal como una epoxi. Un montículo o botón de material aislante se une a cada intersección y sobresale sobre la red y también puede sobresalir por debajo de la red. Los botones tienen una forma redondeada y se pueden formar mediante la construcción de la resina aislante en las intersecciones. El material de pantalla 36 puede construirse y disponerse de la misma manera que el material de pantalla descrito en la solicitud de patente de EEUU nº: 10/858.039 (publicación nº: 2005/0275496), asignada a ABB Technology Inc. La red de material de pantalla 36 se devana alrededor del mandril de devanado 32 para formar un cilindro y los extremos longitudinales opuestos de la red se unen, al menos temporalmente con una banda de fibra de vidrio.

[0032] Una primera capa conductora 38 se forma sobre la primera capa de aislamiento 34. La banda de fibra de vidrio que mantiene la primera capa aislante 34 unida se puede retirar cuando la primera capa conductora 38 se está formando, o se puede dejar. La primera capa conductora 38 comprende un primer grupo de devanados de disco 42 y un segundo grupo de devanados de disco 43 que no están directamente conectados. En el primer grupo de devanados de disco 42, los devanados de disco 42 están conectados entre sí en una disposición en serie, y en el segundo grupo de devanados de disco 43, los devanados de disco 43 están todos conectados entre sí en una disposición en serie. El primer grupo de devanados de disco 42 se forma con un conductor 44 y el segundo grupo de devanados de disco 43 se forma con un conductor 45. El primer grupo de devanados de disco 42 y el segundo grupo de devanados de disco 43 comienzan en el centro de la bobina 30.

[0033] Cada conductor 44, 45 está compuesto por un metal tal como cobre o aluminio. Cada conductor 44, 45 puede tener forma de hilo y puede tener una sección transversal rectangular. Alternativamente, cada conductor 44, 45 puede tener forma de una hoja, donde el conductor 44, 45 es fino y rectangular, con una anchura del tamaño de la del devanado de disco. En las formas de realización descritas y mostradas con respecto a las figuras 2-10, se ha descubierto que es particularmente útil usar conductores de hoja, más específicamente conductores de hoja con una proporción de anchura a espesor superior a 20:1, más particularmente de aproximadamente 250:1 a aproximadamente 25:1, más particularmente de aproximadamente 200:1 a aproximadamente 50:1, todavía más particularmente de aproximadamente 150:1. En una forma de realización particular, el conductor de hoja tiene una anchura de entre aproximadamente 0,02 a aproximadamente 0,05 cm (de aproximadamente 0,008 a aproximadamente 0,02 pulgadas) y un espesor de entre aproximadamente 2,54 y 5,08 cm (aproximadamente 1 y 2 pulgadas), más particularmente aproximadamente un espesor de 0,025 cm (aproximadamente 0,01 pulgadas) y aproximadamente una anchura de 3,8 cm (aproximadamente 1.5 pulgadas). En cada devanado de disco 42, 43, los giros del conductor 44, 45 se devanan en

una dirección radial, uno encima del otro, es decir, un giro por capa. Una capa aislante está dispuesta entre cada capa o giro del conductor 44, 45. La capa aislante puede estar compuesta por una película de poliimida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Nomex®; una película de poliamida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Kapton®, o una película de poliéster, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Mylar®.

[0034] En los devanados de disco 42, 43 en formación, los conductores 44, 45 se pueden devanar de forma continua (como se muestra en la Fig. 6) o pueden estar provistos de "hendiduras" 44a, 45a, respectivamente (como se muestra en la Fig. 5). Si cada conductor 44, 45 se devana de forma continua, el conductor 44, 45 se devana en direcciones alternantes, es decir, de dentro hacia afuera y luego de fuera hacia adentro, etc. Si el conductor 44, 45 está provisto de hendiduras 44a, 45a el conductor 44, 45 se devana en una dirección, es decir, desde dentro hacia afuera. Una hendidura 44a, 45a es un plegado que se forma a la finalización de un devanado de disco 42, 43 para llevar el conductor 44, 45 desde el exterior de nuevo hacia el interior para iniciar un devanado de disco subsiguiente 42, 43. Si el espesor del conductor 44,45 permite que las hendiduras 44a, 45a se formen sin demasiada dificultad, se prefiere el uso de hendiduras. Aunque no se muestra, los conductores 44, 45 están soldados a los cables de la bobina que están dispuestos en dirección radial hacia adentro desde la primera capa conductora 38 y se extienden hacia un extremo de la bobina 30. Los cables de bobina se proporcionan para la conexión a una fuente de voltaje.

[0035] Después de que se haya formado la primera capa conductora 38, se forma una segunda capa aislante 48 compuesta por una lámina o red de material de pantalla 36 sobre la primera capa conductora 38. Después, se dispone una capa 50 de conductos de refrigeración 52 sobre la segunda capa aislante 48, como se describirá más ampliamente a continuación. Después se forma una tercera capa aislante 54 compuesta por una lámina o red de material de pantalla 36 sobre la capa de conductos de refrigeración 52. En lugar de formar una capa de conductos de refrigeración 52, se pueden disponer capas de aislamiento adicionales compuestas por material de pantalla 36 u otros materiales de aislamiento sobre la segunda capa aislante 48. Otra opción más es formar una segunda capa conductora 56 directamente sobre la segunda capa aislante 48.

[0036] La segunda capa conductora 56 se forma desde un conductor 60, que está eléctricamente conectado a los conductores 44, 45 de la primera capa conductora 38, o es una parte integral del conductor 44, o es una parte integral del conductor 45, o es una parte parcialmente integral del conductor 44 y una parte parcialmente integral del conductor 45. Los conductores 44, 45 se pueden pasar a través de la segunda capa aislante 48, la capa de conductos de refrigeración 52 y la tercera capa aislante 54 para alcanzar la segunda capa conductora 56. La segunda capa conductora 56 comprende una pluralidad de devanados de disco 58 y se forma sobre la tercera capa aislante 54 (si la capa de conductos de refrigeración 52 está formada), o sobre las capas aislantes adicionales, o directamente sobre la segunda capa aislante 48. El número de devanados de disco 58 de la segunda capa conductora 56 es el mismo que el número total de devanados de disco 42, 43 de la primera capa conductora 38. Los devanados de disco 58 de la segunda capa conductora 56 están todos conectados entre sí en una disposición en serie. Si el conductor 60 es una parte integral del conductor 44, los devanados de disco 58 se forman empezando por un primer extremo 30a de la bobina 30 y continuando a un segundo extremo 30b de la bobina 30, donde el conductor 60 está eléctricamente conectado al conductor 45. Si el conductor 60 es una parte integral del conductor 45, los devanados de disco 58 se forman empezando por el segundo extremo 30b de la bobina 30 y continuando al primer extremo 30a de la bobina 30, donde el conductor 60 está eléctricamente conectado al conductor 44. Si el conductor 60 es una parte parcialmente integral del conductor 44 y una parte parcialmente integral del conductor 45, los devanados de disco 58 se pueden formar empezando por ambas primera y segunda extremidades 30a, 30b de la bobina 30 y continuando hacia el centro axial de la bobina 30, donde las dos partes del conductor 60 están eléctricamente conectadas entre sí. De nuevo, una capa aislante está dispuesta entre cada capa o giro del conductor 60. La capa aislante puede estar compuesta por una película de poliimida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Nomex®, una película de poliamida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Kapton®, o una película de poliéster, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Mylar®. También, el conductor 60 puede estar devanado de forma continua (como se muestra en la Fig. 6) o puede estar provisto de hendiduras 60a (como se muestra en la Fig. 5).

[0037] Después de que se haya formado la segunda capa conductora 56, se forma una cuarta capa aislante 62 compuesta por una lámina o red de material de pantalla 36 sobre la segunda capa conductora 56. La bobina 30 está entonces lista para ser impregnada con una resina aislante 64, que se describe con más detalle más adelante.

[0038] Cuando los devanados de disco 42, 43 están formados entre la primera y la segunda capa aislante 34, 48, como se ha descrito anteriormente, los devanados de disco 42, 43 están sujetos entre los botones del material de pantalla 36 que forma la primera y la segunda capa aislante 34, 48 para formar los espacios aislantes entre los devanados de disco 42,43 y las rejillas del material de pantalla 36 dispuesto en lados opuestos de los devanados de disco 42, 43. Tales espacios aislantes también están formados en los lados opuestos de los devanados de disco 58 y de los conductos de refrigeración 52 de la bobina 30, al igual que en los lados opuestos de los devanados de disco y de los conductos de refrigeración de otras bobinas que se describirán más adelante. Tales espacios aislantes se rellenan con la resina aislante 64 durante la encapsulación de las bobinas con la resina aislante 64.

[0039] Con respecto a la Fig. 7, se muestra una vista en sección de una bobina de alto voltaje 66 construida conforme a una segunda forma de realización de la presente invención. La bobina 66 se puede usar en el transformador 10. En la bobina 66 se forma una primera capa conductora 68 sobre una primera capa aislante 70 compuesta por el material de pantalla 36. La primera capa conductora 68 comprende un primer grupo de devanados de disco 72 y un segundo grupo

de devanados de disco 74 que no están directamente conectados entre sí. En el primer grupo de devanados de disco 72, los devanados de disco 72 están todos conectados entre sí en una disposición en serie, y en el segundo grupo de devanados de disco 74, los devanados de disco 74 están todos conectados entre sí en una disposición en serie. El primer grupo de devanados de disco 72 está formado con un primer conductor 76 y el segundo grupo de devanados de disco 74 está formado con un segundo conductor 78. Aunque no se muestra, el primer y el segundo conductor 76, 78 están soldados a cables de bobina que están dispuestos en dirección radial hacia adentro desde la primera capa conductora 68 y se extienden hacia un extremo de la bobina 66. Los cables de bobina se proporcionan para la conexión a una fuente de voltaje.

[0040] El primer grupo de devanados de disco 72 comienza en un primer extremo 66a de la bobina 66, mientras que el segundo grupo de devanados de disco 74 comienza en un segundo extremo 66b de la bobina 66. En la formación de los devanados de disco 72, el primer conductor 76 puede estar devanado de forma continua (como se muestra) o puede estar provisto de hendiduras, y una capa aislante está dispuesta entre cada capa o giro del primer conductor 76. De forma similar, en la formación de los devanados de disco 74, el segundo conductor 78 puede estar devanado de forma continua (como se muestra) o puede estar provisto de hendiduras, y una capa aislante está dispuesta entre cada capa o giro del segundo conductor 78. Las capas aislantes de los devanados de disco 72, 74 pueden estar compuestas por una película de poliimida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Nomex®, una película de poliamida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Kapton®, o una película de poliéster, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Mylar®.

[0041] Después de que se haya formado la primera capa conductora 68, se forma una segunda capa aislante 82 compuesta por una lámina o red de material de pantalla 36 sobre la primera capa conductora 68. Después, se dispone una primera capa 84 de los conductos de refrigeración 52 sobre la segunda capa aislante 82, como se describirá más detalladamente a continuación. Una tercera capa aislante 86 compuesta por una lámina o red del material de pantalla 36 se forma luego sobre la primera capa 84 de los conductos de refrigeración 52. En lugar de formar la primera capa 84 de los conductos de refrigeración 52, se pueden disponer capas aislantes adicionales compuestas por material de pantalla 36 u otro material de aislamiento sobre la segunda capa aislante 82.

[0042] Se forma una segunda capa conductora 88 sobre la tercera capa aislante 86 (si se forma la primera capa 84 de los conductos de refrigeración 52) o sobre las capas aislantes adicionales o directamente sobre la segunda capa aislante 82. De forma similar a la primera capa conductora 68, la segunda capa conductora 88 comprende un primer grupo de devanados de disco 90 y un segundo grupo de devanados de disco 92 que no están conectados directamente entre sí. No obstante, en vez de tener tres devanados de disco por grupo, la segunda capa conductora 88 tiene cuatro devanados de disco por grupo, es decir, cuatro devanados de disco 90 y cuatro devanados de disco 92. En el primer grupo de devanados de disco 90, los devanados de disco 90 están todos conectados entre sí en una disposición en serie, y en el segundo grupo de devanados de disco 92, los devanados de disco 92 están todos conectados en una disposición en serie. El primer grupo de devanados de disco 90 se forma a partir de un primer conductor 94, que está eléctricamente conectado al primer conductor 76 de la primera capa conductora 68 o es una parte integral de él. De forma similar, el segundo grupo de devanados de disco 92 se forma a partir de un segundo conductor 96, que está eléctricamente conectado al segundo conductor 78 de la primera capa conductora 68 o es una parte integral de él. El primer y el segundo conductor 76, 78 se pueden pasar a través de la segunda capa aislante 82, la primera capa 84 de los conductos de refrigeración 52 y la tercera capa aislante 86 para alcanzar la segunda capa conductora 88. Tanto el primero como el segundo grupo de devanados de disco 90, 92 comienzan en una parte intermedia de la bobina 66 y avanzan axialmente hacia afuera, respectivamente. En la formación de los devanados de disco 90, el primer conductor 94 puede estar devanado de forma continua (como se muestra) o puede estar provisto de hendiduras, y una capa aislante está dispuesta entre cada capa o giro del primer conductor 94. De forma similar, en la formación de los devanados de disco 92, puede estar devanado de forma continua (como se muestra) o puede estar provisto de hendiduras, y una capa aislante está dispuesta entre cada capa o giro del primer conductor 96. Las capas aislantes de los devanados de disco 90, 92 pueden estar compuestas por una película de poliimida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Nomex®, una película de poliamida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Kapton®, o una película de poliéster, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Mylar®.

[0043] Después de que se haya formado la segunda capa conductora 88, se forma una cuarta capa aislante 100 compuesta por una lámina o red de material de pantalla 36 sobre la segunda capa conductora 88. Después, puede disponerse una segunda capa 102 de conductos de refrigeración 52 sobre la cuarta capa aislante 100, como se describirá más detalladamente a continuación. Una quinta capa aislante 104 compuesta por una lámina o red de material de pantalla 36 se forma luego sobre la segunda capa 102 de conductos de refrigeración 52. En lugar de formar la segunda capa 102 de conductos de refrigeración 52, se pueden disponer capas aislantes adicionales compuestas por material de pantalla 36 u otro material de aislamiento sobre la cuarta capa aislante 100.

[0044] Una tercera capa conductora 106 se forma sobre la quinta capa aislante 104 (si la segunda capa 102 de conductos de refrigeración 52 está formada), o sobre las capas aislantes adicionales, o directamente sobre la cuarta capa aislante 100. La tercera capa conductora 106 comprende un único grupo de devanados de disco 108, los cuales están todos conectados entre sí en una disposición en serie. El número de devanados de disco 108 de la tercera capa conductora 106 es el mismo que el número total de devanados de disco 90, 92 de la segunda capa conductora 88. La tercera capa conductora 106 está formada a partir de un conductor 110, que está eléctricamente conectado al primer y

al segundo conductores 94, 96 de la segunda capa conductora 88, o es una parte integral del primer conductor 94, o una parte integral del segundo conductor 96, o es una parte parcialmente integral del primer conductor 94 y una parte parcialmente integral del segundo conductor 96. El primer conductor 94 y el segundo conductor 96 se pueden pasar a través de la cuarta capa aislante, la segunda capa de conductos de refrigeración 52 y la quinta capa aislante (si existen) para alcanzar la tercera capa conductora 106. Si el conductor 110 es una parte integral del primer conductor 94, los devanados de disco 108 se forman comenzando en el primer extremo 66a de la bobina 66 y continuando al segundo extremo 66b de la bobina 66, donde el conductor 110 está eléctricamente conectado al segundo conductor 96. Si el conductor 110 es una parte integral del segundo conductor 94, los devanados de disco 108 se forman comenzando en el segundo extremo 66b de la bobina 66 y continuando al primer extremo 66a de la bobina 66, donde el conductor 110 está eléctricamente conectado al primer conductor 94. Si el conductor 110 es una parte parcialmente integral del primer conductor 94 y una parte parcialmente integral del segundo conductor 96, los devanados de disco 108 se pueden formar comenzando tanto en el primero como en el segundo extremo 66a, 66b de la bobina 66 y continuando al centro axial de la bobina 66 donde las dos partes del conductor 110 están eléctricamente conectadas entre sí. En la formación de los devanados de disco 108, el conductor 110 puede estar devanado de forma continua (como se muestra) o puede estar provisto de hendiduras, y una capa aislante está dispuesta entre cada capa o giro del conductor 110. La capa aislante puede estar compuesta por una película de poliimida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Nomex®, una película de poliamida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Kapton®, o una película de poliéster, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Mylar®.

[0045] Después de que se haya formado la tercera capa conductora 106, se forma una sexta capa aislante 114 compuesta por una lámina o red de material de pantalla 36 sobre la tercera capa conductora 106. La bobina 66 está entonces lista para ser impregnada con la resina aislante 64, como se describirá con más detalle más adelante.

[0046] Con respecto a la Fig. 8, se muestra una vista en sección de una bobina de alto voltaje 116, que se puede usar en el transformador 10 y que está construida de acuerdo con una tercera forma de realización de la presente invención. La bobina 116 comprende un par de secciones dispuestas axialmente 118, que tienen sustancialmente la misma construcción. Por consiguiente, por motivos de brevedad sólo se describirá una de las secciones 118. Cada sección 118 comprende una primera, segunda, tercera, cuarta, quinta y sexta capa aislante, que no se muestran para que sea más claro, y una primera, segunda y tercera capa conductora 132, 134, 136. Cada una de las primera a la sexta capas de aislamiento está compuesta por el material de pantalla 36. La primera capa conductora 132 se forma sobre la primera capa aislante y comprende un primer grupo de devanados de disco 140 y un segundo grupo de devanados de disco 142 que no están directamente conectados entre sí. En el primer grupo de devanados de disco 140, los devanados de disco 140 están conectados entre sí en una disposición en serie, y en el segundo grupo de devanados de disco 142, los devanados de disco 142 están conectados entre sí en una disposición en serie. El primer grupo de devanados de disco 140 se forma con un primer conductor 144 y el segundo grupo de devanados de disco 142 se forma con un segundo conductor 146. Aunque no se muestran, el primer y el segundo conductor 144, 146 están soldados a cables de bobina que están dispuestos en dirección radial hacia adentro desde la primera capa conductora 132 y se extienden hacia un extremo de la bobina 116. Los cables de bobina se proporcionan para conexión a una fuente de voltaje.

[0047] En la formación de los devanados de disco 140, el primer conductor 144 puede estar provisto de hendiduras 144a (como se muestra) o puede estar devanado en forma continua, y una capa aislante está dispuesta entre cada capa o giro del primer conductor 144. De forma similar, en la formación de los devanados de disco 142 el segundo conductor 146 puede estar provisto de hendiduras 146a (como se muestra) o puede estar devanado en forma continua, y una capa aislante está dispuesta entre cada capa o giro del segundo conductor 146. Las capas aislantes de los devanados de disco 140, 142, pueden estar compuestas por una película de poliimida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Nomex®, una película de poliamida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Kapton®, o una película de poliéster, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Mylar®.

[0048] Después de que la primera capa conductora 132 se haya formado, la segunda capa aislante se forma sobre la primera capa conductora 132. Luego, una primera capa 152 de conductos de refrigeración 52 se dispone sobre la segunda capa aislante. La tercera capa aislante se forma después sobre la primera capa 152 de los conductos de refrigeración 52. En lugar de formar la primera capa 152 de conductos de refrigeración 52, se pueden disponer capas aislantes adicionales compuestas por material de pantalla 36 u otro material de aislamiento sobre la segunda capa aislante.

[0049] La segunda capa conductora 134 se forma sobre la tercera capa aislante (si la primera capa 152 de conductos de refrigeración 52 está formada), o sobre las capas de aislamiento adicionales, o directamente sobre la segunda capa aislante. De manera similar a la primera capa conductora 132, la segunda capa conductora comprende un primer grupo de devanados de disco 154 y un segundo grupo de devanados de disco 156 que no están directamente conectados entre sí. En vez de tener tres devanados de disco por grupo, no obstante, la segunda capa conductora 134 tiene cuatro devanados de disco por grupo, es decir, cuatro devanados de disco 154 y cuatro devanados de disco 156. En el primer grupo de devanados de disco 154, los devanados de disco 154 están conectados entre sí en una disposición en serie, y en el segundo grupo de devanados de disco 156, los devanados de disco 156 están conectados entre sí en una disposición en serie. El primer grupo de devanados de disco 154 se forma a partir de un primer conductor 160, que está eléctricamente conectado al primer conductor 144 de la primera capa conductora 132, o es una parte integral de él. De forma similar, el segundo grupo de devanados de disco 156 se forma a partir de un segundo conductor 162, que está

eléctricamente conectado al segundo conductor 146 de la primera capa conductora 132, o es una parte integral de él. El primero y el segundo conductor 160, 162 se pueden pasar a través de la segunda capa aislante, la primera capa 152 de conductos de refrigeración 52 y la tercera capa aislante para alcanzar la segunda capa conductora 134. En la formación de los devanados de disco 154, el primer conductor 160 puede estar provisto de hendiduras 160a (como se muestra) o puede estar devanado de forma continua, y una capa aislante está dispuesta entre cada capa o giro del primer conductor 160. De forma similar, en la formación de los devanados de disco 156, el segundo conductor 162 puede estar provisto de hendiduras 162a (como se muestra) o puede estar devanado de forma continua, y una capa aislante está dispuesta entre cada capa o giro del segundo conductor 162. Las capas aislantes en los devanados de disco 154, 156 pueden estar compuestas por una película de poliimida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Nomex®, una película de poliamida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Kapton® o una película de poliéster, tal y como la que se vende bajo la marca registrada el Mylar®.

[0050] Después de que la segunda capa conductora 134 se haya formado, la cuarta capa aislante se forma sobre la segunda capa conductora 134. Luego, una segunda capa 168 de conductos de refrigeración 52 pueden estar dispuesta sobre la cuarta capa aislante. La quinta capa aislante se forma después sobre la segunda capa 168 de conductos de refrigeración 52. En lugar de formar la segunda capa 168 de conductos de refrigeración 52, se pueden disponer capas aislantes adicionales compuestas por material de pantalla 36 u otro material de aislamiento sobre la cuarta capa aislante.

[0051] La tercera capa conductora 136 se forma sobre la quinta capa aislante (si la segunda capa 168 de conductos de refrigeración 52 está formada), o sobre las capas aislantes adicionales o directamente sobre la cuarta capa aislante. La tercera capa conductora 136 comprende un único grupo de devanados de disco 170, todos ellos conectados entre sí en una disposición en serie. El número de devanados de disco 170 de la tercera capa conductora 136 es el mismo que el número total de devanados de disco 154, 156 de la segunda capa conductora 134. La tercera capa conductora 136 se forma a partir de un conductor 172, que está eléctricamente conectado al primer y segundo conductor 160, 162 de la segunda capa conductora 134, o es una parte integral del primer conductor 160, o es una parte integral del segundo conductor 162, o es una parte parcialmente integral del primer conductor 160 y una parte parcialmente integral del segundo conductor 162. El primer conductor 160 y el segundo conductor 162 se puede pasar a través de la cuarta capa aislante, la segunda capa 168 de conductos de refrigeración 52 y la quinta capa aislante (si están) para alcanzar la tercera capa conductora 136. En la formación de los devanados de disco 170, el conductor 172 puede estar provisto de hendiduras 172a (como se muestra) o puede estar devanado de forma continua, y una capa aislante está dispuesta entre cada capa o giro del conductor 172. La capa aislante puede estar compuesta por una película de poliimida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Nomex®, una película de poliamida, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Kapton® o una película de poliéster, tal y como la que se vende bajo la marca registrada Mylar®.

[0052] Después de que la tercera capa conductora 136 se haya formado, la sexta capa aislante se forma sobre la tercera capa conductora 136.

[0053] Las secciones 118 están dispuestas en serie a lo largo de un eje longitudinal de la bobina 116 y están eléctricamente conectadas entre sí por un conductor 178 que tiene un primer extremo fijado al segundo conductor 146 de una de las secciones inferiores 118 y un segundo extremo fijado al primer conductor 144 de una de las secciones superiores 118. Las secciones 118 están conectadas entre sí durante la formación de las primeras capas conductoras 132 de las secciones 118. Una vez que las secciones 118 están completadas, las secciones 118 y el resto de la bobina 116 se impregnan con la resina aislante 64.

[0054] Otras bobinas pueden estar provistas de números diferentes de secciones 118. Por ejemplo, la Fig. 9 muestra una bobina de alto voltaje 180 con tres secciones 118 dispuestas en serie a lo largo de un eje longitudinal de la bobina 180. Una de las secciones 118 inferiores y una de las secciones 118 medias están conectadas eléctricamente entre sí por un conductor 182 que tiene un primer extremo fijado al segundo conductor 146 de una de las secciones 118 inferiores y un segundo extremo fijado al primer conductor 144 de una de las secciones 118 medias. Una de las secciones 118 medias y una de las secciones 118 superiores están eléctricamente conectadas entre sí por un conductor 184 que tiene un primer extremo fijado al segundo conductor 146 de una de las secciones 118 medias y un segundo extremo fijado al primer conductor 144 de una de las secciones 118 superiores. La bobina 180 se puede usar en el transformador 10.

[0055] Con respecto a la Fig. 10, se muestra una bobina de alto voltaje 186 que tiene cuatro secciones 118 distanciadas entre sí a lo largo de un eje longitudinal de la bobina 186. Una de las secciones 118 inferiores y una de las secciones 118 medias están eléctricamente conectadas entre sí por un conductor 188 que tiene un primer extremo fijado al segundo conductor 146 de la sección inferior 118 y un segundo extremo fijado al primer conductor 144 de la sección 118 media inferior. La sección media inferior 118 y una sección 118 media superior están eléctricamente conectadas entre sí por un conductor 190 que tiene un primer extremo fijado al segundo conductor 146 de la sección media inferior 118 y un segundo extremo fijado al primer conductor 144 de la sección media superior 118. La sección media superior 118 y una sección superior 118 están eléctricamente conectadas entre sí por un conductor 192 que tiene un primer extremo fijado al segundo conductor 146 de la sección media superior 118 y un segundo extremo fijado al primer conductor 144 de la sección superior 118. La bobina 186 se puede usar en el transformador 10.

[0056] Tanto en la bobina 180 como en la bobina 186, las secciones 118 están conectadas entre sí durante la formación de las primeras capas conductoras 132 de las secciones 118.

[0057] En las figuras 8, 9 y 10 las secciones 118 y, así, la primera y la segunda capa 152, 168 de conductos de refrigeración 52 y de la primera hasta la sexta capas aislantes de las secciones 118 se muestran distanciadas. Debe observarse, no obstante, que las secciones 118 se pueden disponer de manera que la primera y segunda capa 152, 168 de conductos de refrigeración 52 y de la primera hasta la sexta capas aislantes de las secciones 118 lindan unas con otras. Además debería observarse que en lugar de las secciones 118 que tienen separadas la primera y la segunda capa 152, 168 de conductos de refrigeración 52 y separadas de la primera a la sexta capas aislantes, las secciones 118 pueden compartir la primera y segunda capa 152, 168 de conductos de refrigeración 52 y de la primera hasta la sexta capas aislantes. De esta manera, en cada bobina 116, 180, 186, los conductos de refrigeración 52 de la primera y segunda capas 152, 168 y de la primera a la sexta capas aislantes se extienden ininterrumpidas entre el primer y segundo extremo de la bobina 116, 180, 186.

[0058] En las bobinas 30, 66, 116, 180, 186 descritas anteriormente, el mayor número de capas conductoras descritas es tres y el mayor número de capas de conductos de refrigeración 52 descritos es dos. Debe observarse, no obstante, que la presente invención no se limita a tres capas conductoras y dos capas de conductos de refrigeración 52. Se puede proporcionar un número superior de capas conductoras, tal como cuatro, cinco o seis y se puede proporcionar un número superior de capas de conductos de refrigeración 52, tal como tres, cuatro o cinco.

[0059] En cuanto a las figuras 11 y 12, se muestra uno de los conductos de refrigeración 52 usados en las bobinas 30, 66, 116, 180, 186. Cada conducto de refrigeración 52 tiene una sección transversal generalmente elíptica, con extremidades abiertas y paredes posteriores 200, 202 generalmente planas separadas y unidas entre sí por un par de paredes laterales 204 curvas separadas entre sí. Se ha descubierto que es particularmente útil proporcionar a cada conducto de refrigeración 52 una dimensión lineal, x , que sea aproximadamente tres veces la anchura, d , del conducto de refrigeración 52. Cada conducto de refrigeración 52 se construye para resistir un vacío de al menos un milibar durante el proceso de encapsulación con resina descrito más adelante.

[0060] Cada conducto de refrigeración 52 está compuesto por un plástico reforzado con fibra en el que las fibras, tales como fibras de fibra de vidrio, se impregnan con una resina termoendurecible, tal como una resina de poliéster, una resina de éster de vinilo o una resina epoxi. Se ha descubierto que es particularmente útil producir los conductos de refrigeración 52 usando un proceso de pultrusión, donde las fibras se extraen mediante uno o más baños de resina termoendurecible y luego se pasan a través de un molde calentado donde la resina termoendurecible se polimeriza. Las fibras se pueden alinear de forma unidireccional o multidireccional. Un ejemplo de una resina termoendurecible que se puede usar para formar los conductos de refrigeración 52 es E1586 Polyglas M, que es una resina de poliéster disponible de Resolite de Zelienople, Pensilvania. Se ha descubierto que es útil formar cada conducto de refrigeración 52 con una red de refuerzo de fibra de vidrio externa y una red de refuerzo de fibra de vidrio interna. Los conductos de refrigeración 52 se construyen para que tengan determinadas propiedades materiales, que permitan a los conductos de refrigeración 52 usarse en las bobinas 30, 66, 116, 180, 186. Cuando se evalúan de acuerdo con ASTM D-638, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics" (método de prueba estándar para propiedades de tensión de plásticos) los conductos de refrigeración 52 tienen una resistencia a la tensión máxima de aproximadamente 207 MPa (aproximadamente 30.000 psi) longitudinalmente, 45 MPa (6.500 psi) transversalmente; una resistencia a la compresión máxima de aproximadamente 207 MPa (aproximadamente 30.000 psi) longitudinalmente, 69 MPa (10.000 psi) transversalmente por ASTM D-695, "Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics" (método de prueba estándar para propiedades de compresión de plásticos rígidos), y una resistencia a la flexión máxima, cuando se evalúa de acuerdo con ASTM D-790, "Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials" (método de prueba estándar para propiedades de flexión de plásticos reforzados y no reforzados y materiales aislantes eléctricos) de aproximadamente 207 MPa (aproximadamente 30.000 psi) longitudinalmente, 69 MPa (10.000 psi) transversalmente. El módulo de elasticidad es de aproximadamente 17 GPa (aproximadamente 2,5E6 psi) longitudinalmente por ASTM D-149, "Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies" (método de prueba estándar para voltaje disruptivo dieléctrico y resistencia dieléctrica de materiales aislantes eléctricos sólidos a frecuencias de energía comerciales). Eléctricamente, los conductos de refrigeración 52 tienen un tiempo corto de resistencia eléctrica (en aceite), por ASTM D-149, de aproximadamente 8 MV/cm (aproximadamente 200 V/mil) (perpendicular) y 1,4 MV/cm (35 kV/pulgada) (paralelo). Se ha descubierto que es particularmente útil que los conductos de refrigeración 52 tengan una conductividad térmica de al menos aproximadamente 0,6 J/smK (aproximadamente 4 Btu/(hr*ft²*° F./in)).

[0061] La longitud de un conducto de refrigeración 52 depende de la aplicación del conducto de refrigeración 52. Por ejemplo, los conductos de refrigeración 52 usados en las secciones 118 de las bobinas 116, 180, 186 pueden ser más cortos que los conductos de refrigeración 52 usados en las bobinas 30, 66. Las longitudes de los conductos de refrigeración 52 se seleccionan de manera que en cada capa de conductos de refrigeración 52 de una bobina, la longitud de cada único conducto de refrigeración 52 (tal como en las bobinas 30, 66), o la longitud total de cada serie axial de conductos de refrigeración 52 (tal como en las bobinas 116, 180, 186) sea inferior a la longitud axial total de la bobina de modo que los extremos opuestos del conducto único de refrigeración 52 o la serie axial de conductos de refrigeración 52 queden incluidos dentro de la resina aislante 64.

[0062] Cada conducto de refrigeración 52 está provisto de tapones superiores e inferiores 208, 210, que se insertan en los extremos abiertos de los conductos de refrigeración 52 para evitar que la resina aislante 64 fluya dentro de los conductos de refrigeración 52 durante la encapsulación de las bobinas 30, 66, 116, 180, 186 con el resina aislante 64.

5 Cada tapón superior 208 se dimensiona encajándolo por fricción en la abertura superior de un conducto de refrigeración correspondiente 52. Como se utiliza en este caso, la "abertura superior" de un conducto de refrigeración 52 de una bobina es la extremidad abierta del conducto de refrigeración 52 que está en el extremo superior de la bobina desde donde los cables de bobina (no mostrados) se extienden y que mira hacia arriba cuando la bobina se está encapsulando en la resina aislante 64. El tapón superior 208 tiene un agarre o asa 212 unido a un cuerpo 214. El cuerpo 214 se estrecha hacia el interior (es decir, hacia abajo) y tiene nervios 216 alrededor de su periferia para asegurar un sellado positivo con la superficie interna del conducto de refrigeración 52. El asa 212 y el estrechamiento hacia adentro del cuerpo 214 facilitan la eliminación del tapón superior 208 del conducto de refrigeración 52 después de la encapsulación con resina y del proceso de polimerización. Dado que los tapones superior e inferior 208, 210 sellarán las extremidades del conducto de refrigeración 52 durante la encapsulación con resina y el proceso de polimerización, se forma un paso abierto o alivio de ventilación 218 en el tapón superior 208 para prevenir el colapso del conducto de refrigeración 52. El tapón inferior 210 realiza la misma función que el tapón superior 208, excepto que en éste no se requiere un alivio de vacío ni un asa. El tapón inferior 210 tiene un cuerpo 220 con nervios 222 para acoplarse por fricción con las paredes internas del conducto de refrigeración 52. Un extremo exterior del cuerpo 220 del tapón inferior 210 es sustancialmente plano para no interferir con la colocación de un extremo inferior de la bobina en una red para la encapsulación de la bobina con la resina aislante 64.

[0063] La formación de cada capa de conductos de refrigeración 52 en las bobinas 30, 66, 116, 180, 186 es similar y, por ello, sólo se hará una descripción con respecto a la capa 50 de los conductos de refrigeración 52 de la bobina 30 por motivos de brevedad. Con referencia ahora a las figuras 2 y 3 de nuevo, los conductos de refrigeración 52 se extienden longitudinalmente entre la primera y la segunda extremidad 30a, 30b de la bobina 30 y están dispuestos alrededor de la circunferencia de la bobina parcialmente formada 30, sobre el segunda capa aislante 48. Los conductos de refrigeración 52 están sustancialmente distanciados de forma uniforme, excepto por un espaciado mayor o hueco 228, que permite que se deposite mayor cantidad de resina aislante entre la segunda capa aislante 48 y la tercera capa aislante 54 durante la encapsulación de la bobina 30 con resina aislante. Esta cantidad aumentada de resina aislante ayuda a fijar los conductos de refrigeración 52 entre la segunda y la tercera capa aislantes 48, 54. Los conductos de refrigeración 52 se sujetan inicialmente por una pluralidad de bandas 226 de una cinta de fibra de vidrio que están dispuestas alrededor de la capa 50 de conductos de refrigeración 52. Por supuesto, la formación de la tercera capa aislante 54, la segunda capa conductora 56 y la cuarta capa aislante 62 situada sobre la capa 50 de conductos de refrigeración 52 y la encapsulación posterior de la bobina entera 30 con la resina aislante 64 fijan más la capa 50 de conductos de refrigeración 52 en su lugar.

[0064] Una vez que se construye una bobina 30, 66, 116, 180, o 186 con el número requerido de capas aislantes, capas conductoras y capas de conductos de refrigeración 52, la bobina 30, 66, 116, 180, o 186 se retira del mandril de devanado 32 y se encapsula con la resina aislante 64. Ya que el método de encapsulación es similar para cada una de las bobinas 30, 66, 116, 180, o 186, sólo se describirá el método de encapsulación con respecto a la bobina 66 por motivos de brevedad.

[0065] Con respecto a la Fig. 13, la bobina 66 se precalienta primero en un horno para eliminar la humedad de las capas aislantes y de las capas conductoras. La bobina 66 se coloca luego en una red 230 dentro de una cámara de vacío en posición vertical, con el extremo superior de la bobina 66 y los tapones superiores 208 de los conductos de refrigeración 52 mirando hacia arriba. La red 230 está compuesta por silicona u otro material adecuado que se pueda comprimir. Con la bobina 66 colocada de esta forma en la cámara de vacío, las extremidades planas de los tapones inferiores 210 se presionan contra la red 230. Un molde cilíndrico interno 232 se dispone en el centro abierto de la bobina 66 y un molde cilíndrico externo 234 se dispone alrededor de la bobina en vertical 66. Los moldes internos y externos 232, 234 están formados de metal en láminas u otro material rígido. Los moldes internos y externos 232, 234 se dimensionan para dejar espacios entre los moldes internos y externos 232, 234 y la bobina 66. La patente de EEUU N°: 6.221.297 de Lanoue *et al.* divulga una construcción del molde externo 234, pero se pueden utilizar otras formas adecuadas de moldes bien conocidas en la técnica. La compresión de los moldes internos y externos 232, 234 contra la red 230 evitará que la resina aislante 64 rebose fuera de la parte inferior de los moldes internos y externos 232, 234 durante el proceso de encapsulación.

[0066] La cámara de vacío se evacúa para eliminar cualquier humedad y gases que puedan quedar en la bobina 66 y para eliminar cualquier hueco entre los giros adyacentes en los devanados de disco 72, 74, 90, 92, 108. La resina aislante 64, que es fluida, se vierte entre los moldes internos y externos 232, 234 para encapsular la bobina 66, y para revestir la primera y segunda capa 84, 102 de conductos de refrigeración 52. La resina aislante 64 se introduce en los espacios inferiores entre los molde interno y externo 232, 234 y circunda los tapones inferiores 210 a una profundidad sustancialmente uniforme con las partes planas de los tapones inferiores 210. La resina aislante 64 se vierte entre los moldes interno y externo 232, 234 hasta que la resina aislante 64 se extienda aproximadamente 0,48 cm (aproximadamente 3/16 de pulgada) sobre los bordes superiores de las extremidades superiores del conducto de refrigeración 52. La resina aislante 64 fluye por encima y dentro del material de pantalla 36 de la primera a la sexta capas aislantes 70, 82, 86, 100, 104, 114 de manera que la resina aislante 64 llene las aberturas del material de pantalla

36 y los espacios aislantes entre los devanados de disco 72, 74, 90, 92,108 y los conductos de refrigeración 52 y la rejilla de material de pantalla 36. Después de un intervalo de tiempo, que permite que la resina aislante 64 impregne el material de pantalla 36 de la primera a la sexta capas aislantes 70, 82, 86, 100, 104, 114, se libera el vacío y se aplica presión a la superficie libre de la resina aislante 64. Esto hará que la resina aislante 64 impregne cualquier hueco restante de la primera a la sexta capa aislante 70, 82, 86, 100, 104, 114. La bobina 66 se retira luego de la cámara de vacío y se colocada en un horno para polimerizar la resina aislante 64 en un sólido.

[0067] El proceso de polimerización en el horno es convencional y bien conocido en la técnica. Por ejemplo, el ciclo de polimerización puede comprender (1) una parte de gel durante aproximadamente 5 horas a aproximadamente 85 grados C., (2) una parte de subida durante aproximadamente 2 horas donde la temperatura aumenta de aproximadamente 85 grados C. a aproximadamente 140 grados C., (3) una parte de polimerización durante aproximadamente 6 horas a aproximadamente 140 grados C., y (4) parte de bajada durante aproximadamente 4 horas a aproximadamente 80 grados C. Tras la polimerización, los moldes interno y externo 232, 234 se retiran. Los tapones superiores 208 se pueden retirar fácilmente con alicates u otros dispositivos de agarre sin dañar la resina aislante circundante 64. Los tapones inferiores 210 se pueden retirar insertando una barra o vara (no mostrada) a través del extremo superior de cada conducto de refrigeración 52 y perforando hacia afuera los tapones inferiores 210.

[0068] La resina aislante 64 puede ser una resina epoxi o una resina aislante de poliéster. Se ha descubierto que una resina epoxi es particularmente adecuada para su uso como resina aislante 64. La resina epoxi puede ser rellena o no-llena. Un ejemplo de una resina epoxi que se puede usar como resina aislante 64 se encuentra en la patente de EEUU N°: 6.852.415, asignada a ABB Research Ltd. Otro ejemplo de una resina epoxi que se puede usar como resina aislante 64 es Rutapox VE-4883, que está comercialmente disponible de AG de Bakelite AG, Iserlohn, Alemania.

[0069] Debe entenderse que la descripción de la forma o formas de realización precedentes ejemplares sólo tienen intención ilustrativa, no tanto exhaustiva, de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Método de fabricación de un transformador (10) que incluye:

5 la formación de una bobina de devanado de disco (30,66) que incluye:

la formación de una primera capa conductora (38, 68) que comprende una pluralidad de devanados de disco conectados en serie (42, 43, 72, 74) dispuestos en una dirección axial de la bobina de devanado de disco (30, 66), cada uno de los devanados de disco (42, 43, 72, 74) comprende un conductor (44, 45, 76, 78) devanado en una pluralidad de giros concéntricos; y **caracterizado por el hecho de que** éste comprende:

15 la formación de una segunda capa conductora (56, 88) sobre la primera capa conductora (38, 68), la segunda capa conductora (56, 88) comprende una pluralidad de devanados de disco conectados en serie (58, 90, 92) dispuestos en una dirección axial de la bobina de devanado de disco (30, 66), cada uno de los devanados de disco (58, 90, 92) comprende un conductor (60, 94, 96) devanado en una pluralidad de giros concéntricos.

20 2. Método según la reivindicación 1, que comprende además la formación de una capa (50, 84) de conductos de refrigeración (52) sobre la primera capa conductora (38, 68), antes del paso de formación de la segunda capa conductora (56, 88), los conductos de refrigeración (52) se extienden en la dirección axial de la bobina de devanado de disco (30, 66) y están dispuestos en serie alrededor de una circunferencia de la bobina de devanado de disco (30, 66).

25 3. Método según la reivindicación 2, que comprende además:

la formación de una capa (34) de material aislante sobre la primera capa conductora (38, 68), antes del paso de formación de la capa (50, 84) de conductos de refrigeración (52).

30 4. Método según la reivindicación 2, donde cada uno de los conductos de refrigeración (52) está compuesto por plástico reforzado con fibra, y el conductor (44, 45, 76, 78) de la primera capa conductora (38, 68) y el conductor (60, 94, 96) de la segunda capa conductora (56, 88) están compuestos por una lámina metálica.

35 5. Método según la reivindicación 1, que comprende además la formación de una tercera capa conductora (106) sobre la segunda capa conductora (88), dicha tercera capa conductora (106) comprende una pluralidad de devanados de disco (108) dispuestos en una dirección axial de la bobina de devanado de disco (66), cada uno de los devanados de disco (108) comprende un conductor (110) devanado en una pluralidad de giros concéntricos.

6. Método según la reivindicación 5, que comprende además:

40 la formación de una primera capa (84) de conductos de refrigeración (52) sobre la primera capa conductora (68), antes del paso de formación de la segunda capa conductora (88);

45 la formación de una segunda capa (102) de conductos de refrigeración (52) sobre la segunda capa conductora (88), antes del paso de formación de la tercera capa conductora (106);

donde en cada una de las capas primera y segunda (84, 102) de conductos de refrigeración (52), los conductos de refrigeración (52) se extienden en la dirección axial de la bobina de devanado de disco (66) y están dispuestos en serie alrededor de una circunferencia de la bobina de devanado de disco (66).

50 7. Método según la reivindicación 5, donde la primera capa conductora (68) y la segunda capa conductora (88) comprenden cada una primeros y segundos grupos de devanados de disco (72, 74, 90, 92) que no están directamente conectados entre sí; y

55 donde el primer grupo de devanados de disco (72) de la primera capa conductora (68) está conectado al primer grupo de devanados de disco (90) de la segunda capa conductora (88), y el segundo grupo de devanados de disco (74) de la primera capa conductora (68) está conectado al segundo grupo de devanados de disco (92) de la segunda capa conductora (88).

60 8. Método según la reivindicación 7, donde la tercera capa conductora (106) comprende un devanado de disco en un primer extremo de la bobina de devanado de disco (66) que está conectado al primer grupo de devanados de disco (90) de la segunda capa conductora (88) y un devanado de disco en un segundo extremo de la bobina de devanado de disco (66) que está conectado al segundo grupo (92) de devanados de disco de la segunda capa conductora (88).

65 9. Método según la reivindicación 1, que comprende además el encapsulado de la bobina de devanado de disco (30, 66) en una resina epoxi (64).

10. Transformador (10) que comprende:

una bobina de devanado de disco (30, 66) que incluye:

5 una primera capa conductora (38, 68) con una pluralidad de devanados de disco conectados en serie (42, 43, 72, 74) dispuestos en una dirección axial de la bobina de devanado de disco (30, 66), cada uno de los devanados de disco (42, 43, 72, 74) comprende un conductor devanado en una pluralidad de giros concéntricos; y caracterizado por el hecho de que éste comprende:

10 una segunda capa conductora (56, 88) dispuesta sobre la primera capa conductora (38, 68), la segunda capa conductora (56, 88) comprende una pluralidad de devanados de disco conectados en serie (58, 90, 92) y dispuestos en una dirección axial de la bobina de devanado de disco (30, 66), cada uno de los devanados de disco (58, 90, 92) comprende un conductor (60, 94, 96) devanado en una pluralidad de giros concéntricos.

15 11. Transformador (10) según la reivindicación 10, que comprende además una capa (50, 84) de conductos de refrigeración (52) dispuesta entre la primera y la segunda capa conductora (38, 68, 56, 88), los conductos de refrigeración (52) se extienden en la dirección axial de la bobina de devanado de disco (30, 66) y están dispuestos en serie alrededor de una circunferencia de la bobina de devanado de disco (30, 66), una capa (34) de material aislante está dispuesta entre la primera capa conductora (38, 68) y la capa de conductos de refrigeración (52).

20 12. Transformador (10) según la reivindicación 11, donde cada uno de los conductos de refrigeración (52) está compuesto por plástico reforzado con fibra, el conductor (44, 45, 76, 78) de la primera capa conductora (38, 68) y el conductor (60, 94, 96) de la segunda capa conductora (56, 88) están compuestos por una lámina metálica, y donde la bobina de devanado de disco (30, 66) está encapsulada en una resina epoxi (64).

25 13. Transformador (10) según la reivindicación 10, que comprende además una tercera capa conductora (106) dispuesta sobre la segunda capa conductora (88), dicha tercera capa conductora (106) comprende una pluralidad de devanados de disco (108) dispuestos en una dirección axial de la bobina de devanado de disco (66), cada uno de los devanados de disco (108) comprende un conductor (110) devanado en una pluralidad de giros concéntricos.

30 14. Transformador (10) según la reivindicación 13, que comprende además:

35 una primera capa (84) de conductos de refrigeración (52) dispuesta entre la primera y la segunda capa conductora (68, 88);

una segunda capa (102) de conductos de refrigeración (52) dispuesta entre la segunda y la tercera capa conductora (88, 106);

40 donde en cada una de las capas primera y segunda (84, 102) de conductos de refrigeración (52), los conductos de refrigeración (52) se extienden en la dirección axial de la bobina de devanado de disco (66) y están dispuestos en serie alrededor de una circunferencia de la bobina de devanado de disco (66).

45 15. Transformador (10) según la reivindicación 13, donde la primera capa conductora (68) y la segunda capa conductora (88) comprenden cada una primeros y segundos grupos de devanados de disco (72, 74, 90, 92) que no están directamente conectados entre sí; y

50 donde el primer grupo de devanados de disco (72) de la primera capa conductora (68) está conectado al primer grupo de devanados de disco (90) de la segunda capa conductora (88), y el segundo grupo de devanados de disco (74) de la primera capa conductora (68) está conectado al segundo grupo de devanados de disco (92) de la segunda capa conductora (88).

55 16. Transformador (10) según la reivindicación 15, donde la tercera capa conductora (106) comprende un devanado de disco en un primer extremo de la bobina de devanado de disco (66) que está conectado al primer grupo de devanados de disco (90) de la segunda capa conductora (88) y un devanado de disco en un segundo extremo de la bobina de devanado de disco (66) que está conectado al segundo grupo de devanados de disco (92) de la segunda capa conductora (88).

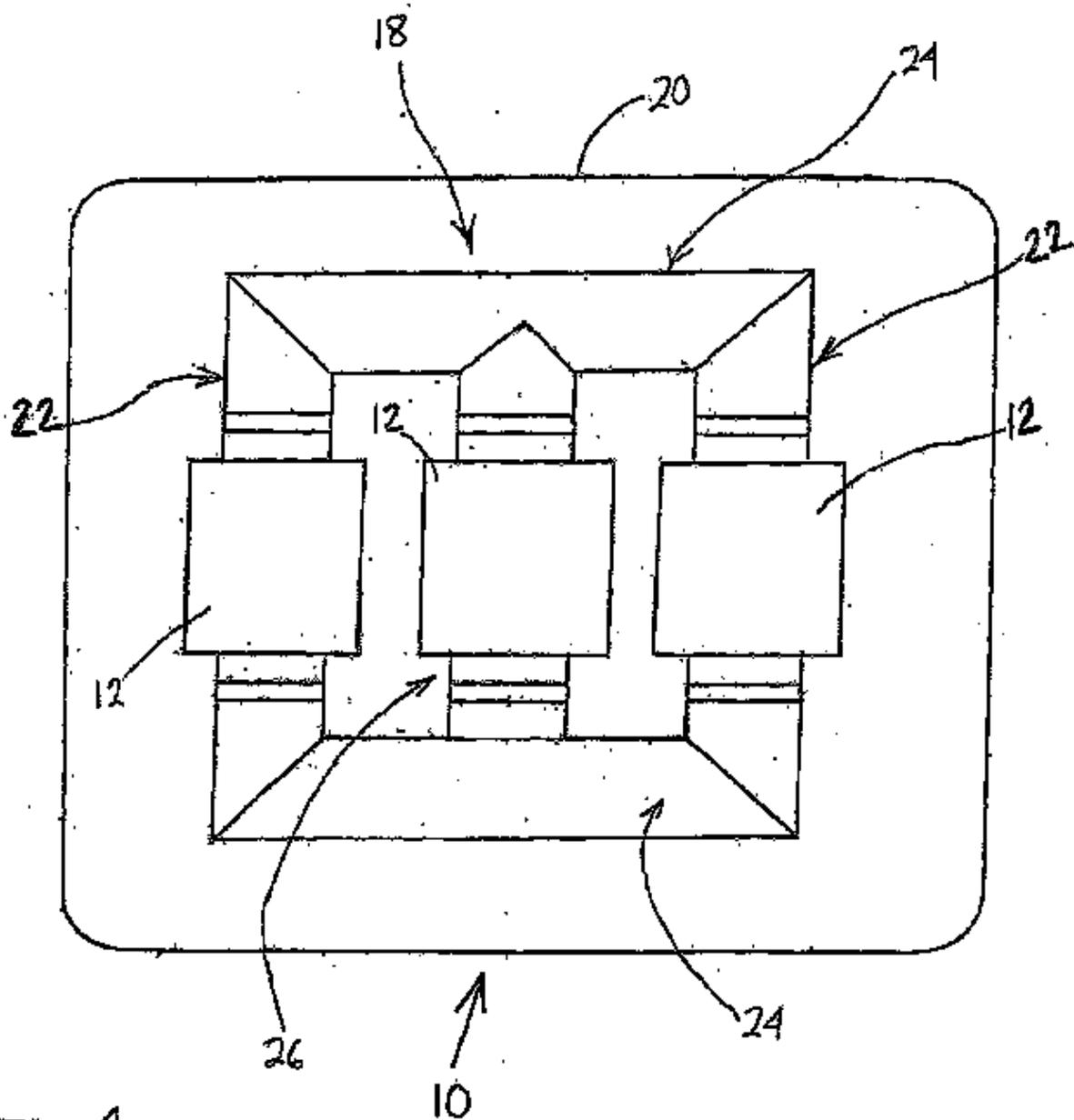


Fig. 1

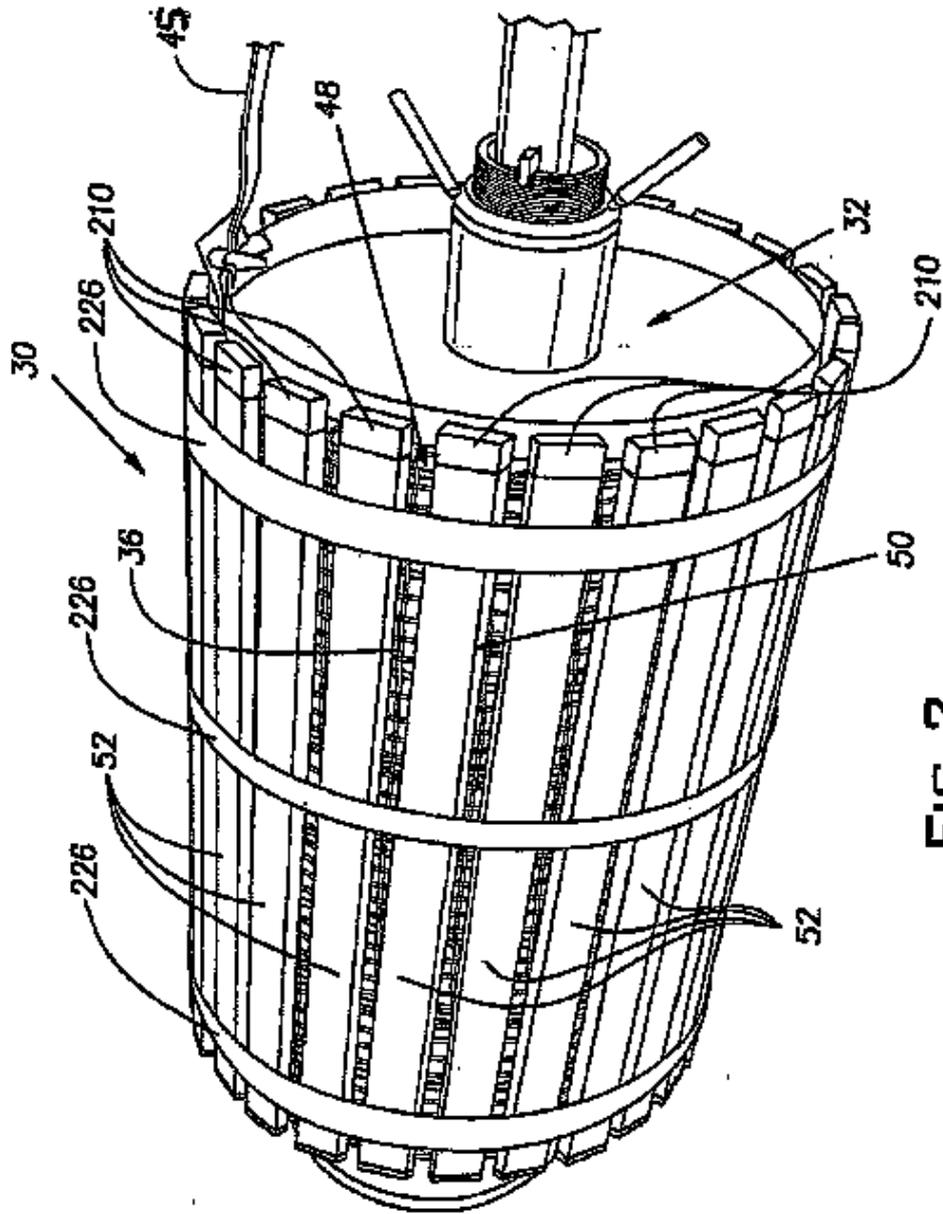


FIG. 2

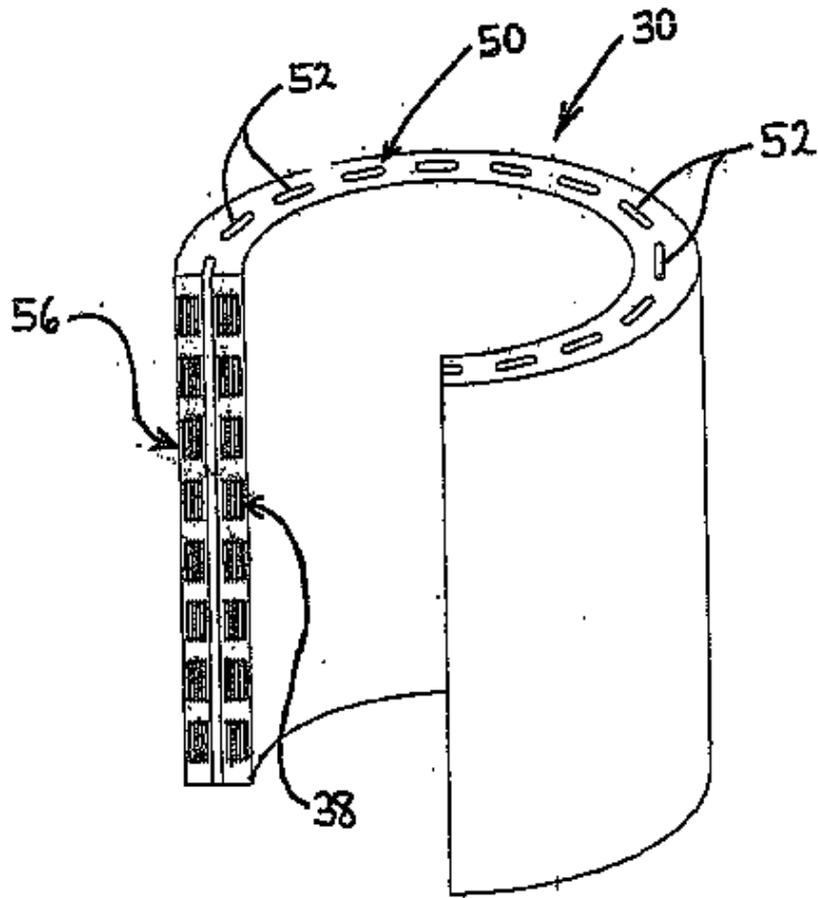


Fig. 4

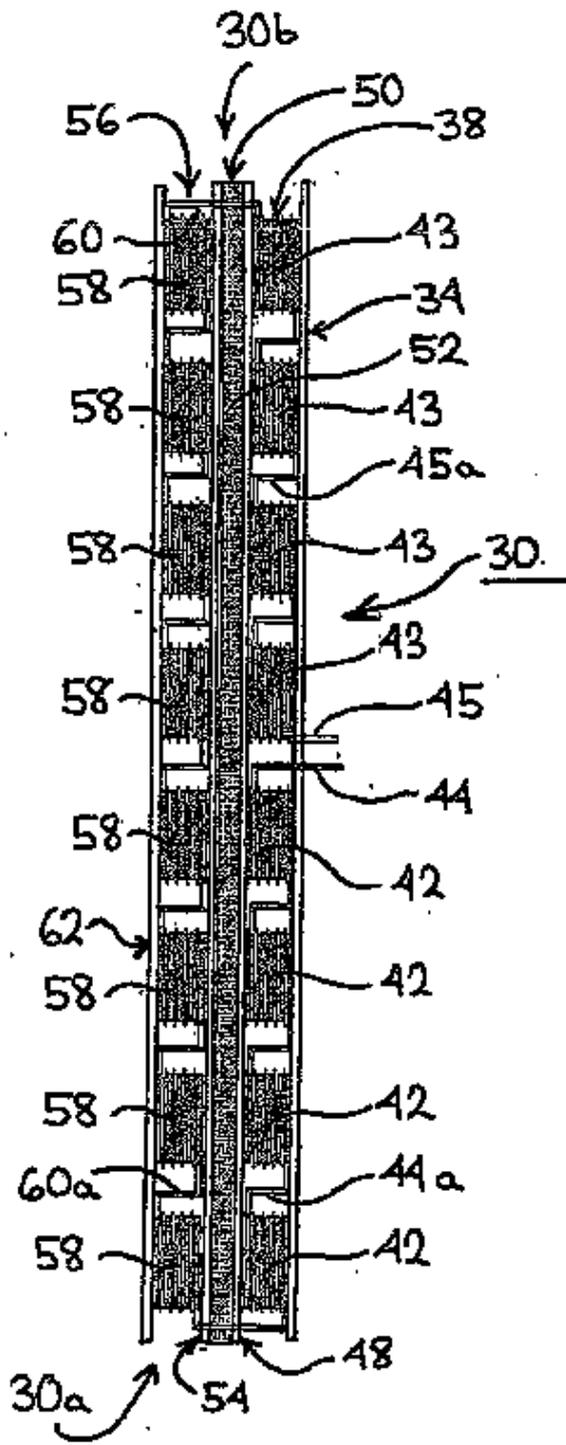


Fig. 5

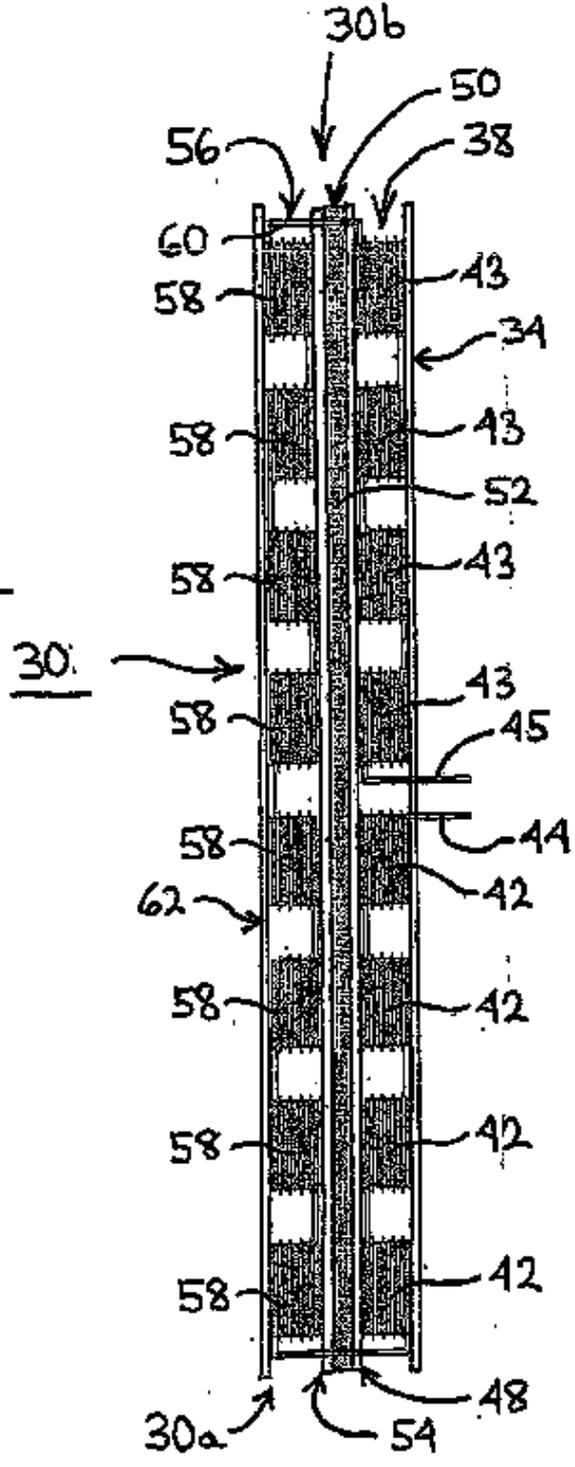
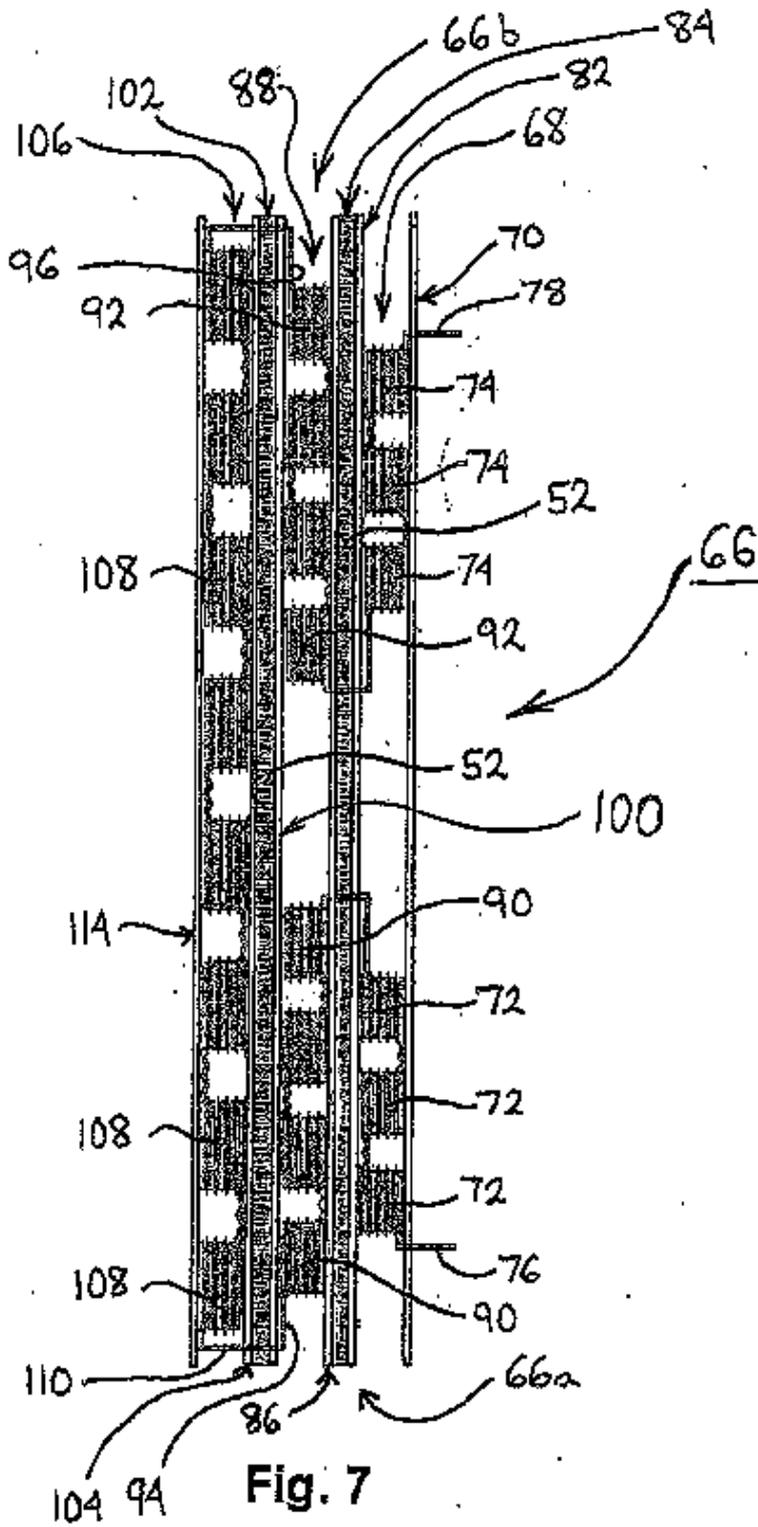
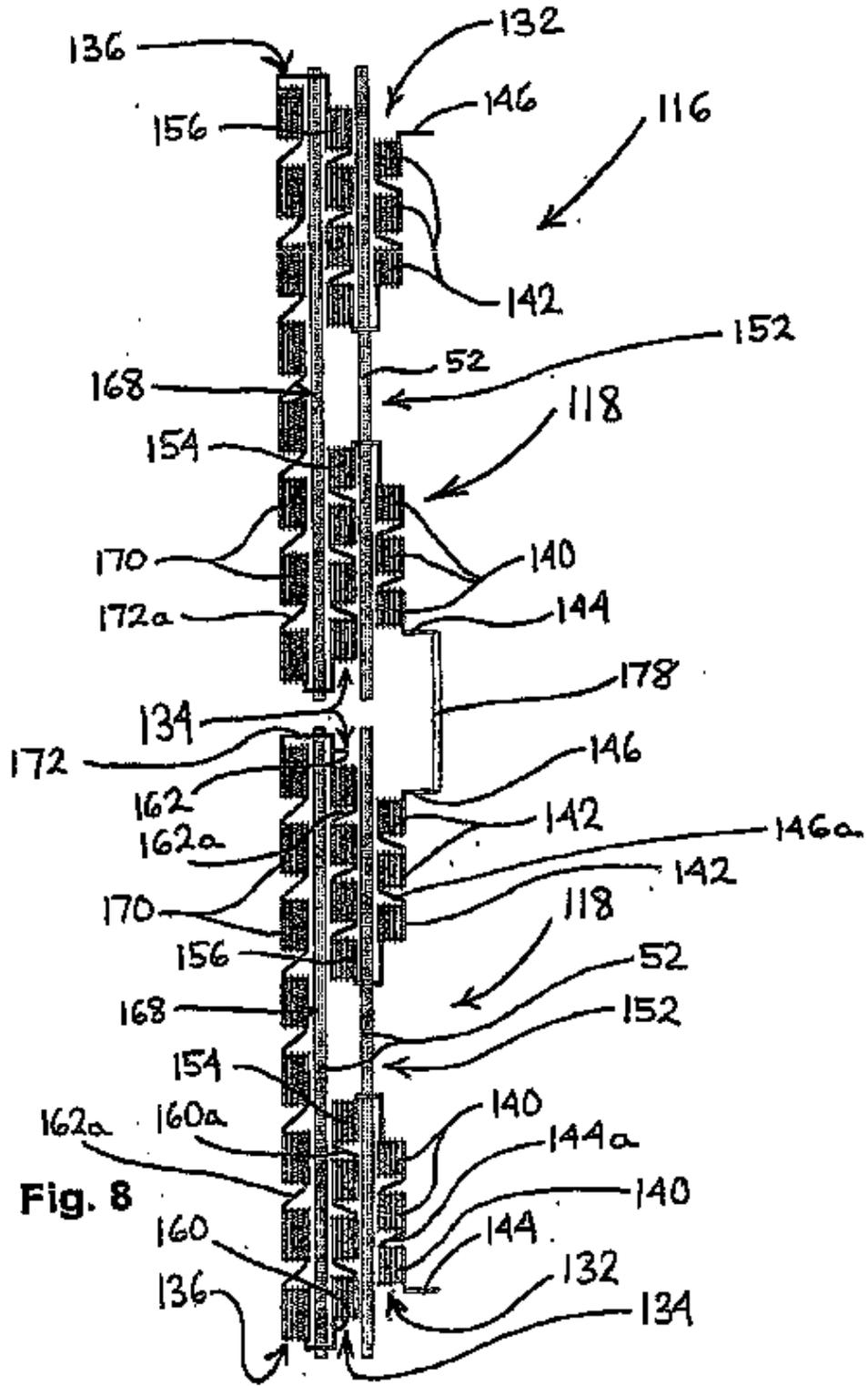


Fig. 6





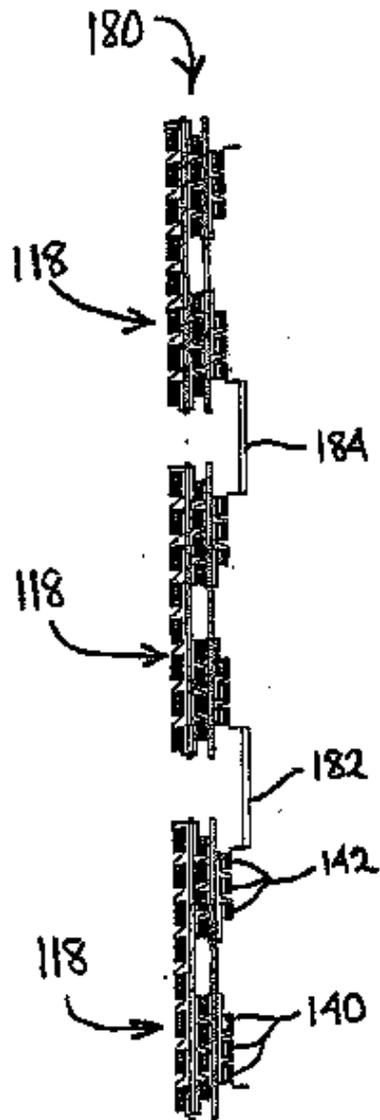


Fig. 9

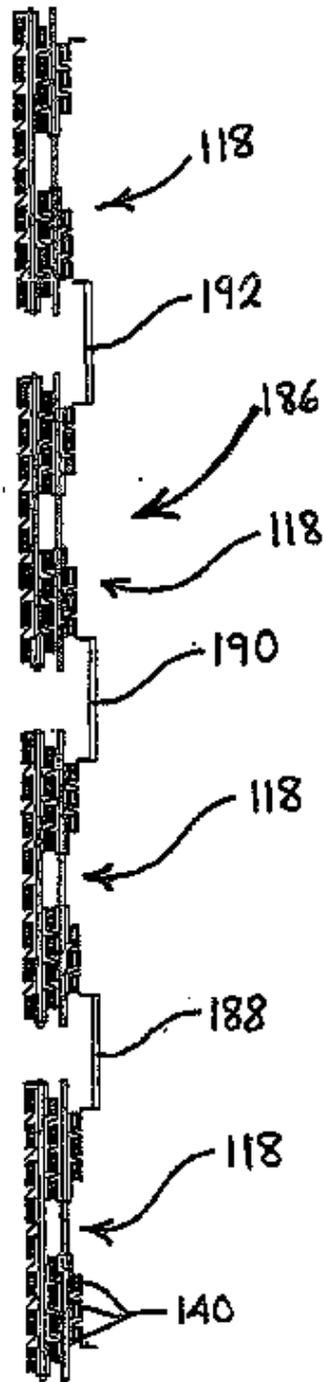


Fig. 10

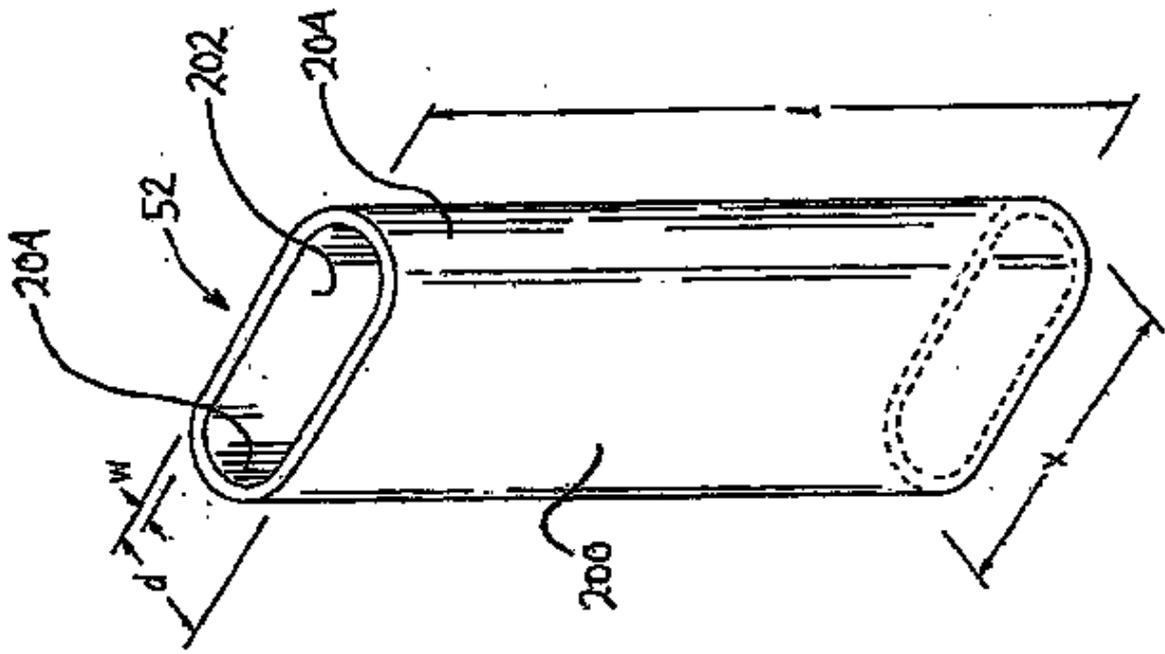


FIG. 11

