

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 406 408**

51 Int. Cl.:

**H01F 27/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.09.2010 E 10175699 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2013 EP 2428967**

54 Título: **Arrollamiento de transformador**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**06.06.2013**

73 Titular/es:

**ABB TECHNOLOGY AG (100.0%)  
Affolternstrasse 44  
8050 Zürich, CH**

72 Inventor/es:

**BOCKHOLT, MARCOS;  
CORNELIUS, FRANK;  
ESENLIK, BURAK;  
PATEL, BHAVESH;  
TEPPER, JENS y  
WEBER, BENJAMIN**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 406 408 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

Arrollamiento de transformador

5 La invención se refiere a un arrollamiento de transformador, con al menos dos módulos de arrollamiento de varias capas, anidados uno en otro de manera hueca-cilíndrica, que se extienden alrededor de un eje de arrollamiento común conectados eléctricamente en serie y con al menos un canal de refrigeración, que está dispuesto a lo largo del mismo eje de arrollamiento de manera hueca-cilíndrica entre los módulos de arrollamiento.

10 Un arrollamiento de este tipo se conoce por ejemplo a partir del documento WO 2006/103193.

En general se conoce que los transformadores de potencia, transformadores de potencia que, por ejemplo, se realizan con una potencia nominal de algunos MVA y en un intervalo de tensión de por ejemplo 5 kV a 30 kV o 110 kV, en parte incluso hasta 170 kV, también como transformadores en seco, siendo posibles en el intervalo de tensión mencionado por último por completo también potencias nominales de 50 MVA y superiores. Durante el funcionamiento de un transformador se genera en sus arrollamientos eléctricos un calor perdido, que ha de evacuarse al entorno. Por lo tanto, para fines de refrigeración de un transformador en seco de este tipo está formado en la mayoría de los casos al menos un canal de refrigeración guiado a lo largo de la extensión axial del arrollamiento, para expulsar el calor perdido preferiblemente por medio de refrigeración por aire natural a partir del interior del arrollamiento. Para aumentar el efecto de refrigeración, en particular el arrollamiento de subtensión que habitualmente se encuentra radialmente hacia dentro está dividido en varios segmentos de arrollamiento hueco-cilíndricos radialmente separados y conectados eléctricamente en serie, entre los que está dispuesto así mismo un canal de refrigeración hueco-cilíndrico.

25 Sin embargo, en esto es desventajoso que la capacidad (parásita) del arrollamiento conectado conjuntamente ya no esté distribuida de forma aproximadamente homogénea sobre las vueltas de arrollamiento individuales, sino que más bien se forme una zona con baja capacidad en la zona del canal de refrigeración. Éste es el caso en particular de los transformadores en seco, porque en ellos son habituales canales de refrigeración con un grosor de algunos centímetros, mientras que en el caso de transformadores llenos de aceite el grosor de los canales de refrigeración se encuentra en el intervalo milimétrico, de modo que la variación capacitiva del arrollamiento cae mínimamente de manera correspondiente.

Este efecto es significativo en particular en el caso de una carga de tensión transitoria del arrollamiento, es decir en el caso de un impulso de tensión que llega desde el exterior a las conexiones del arrollamiento, por ejemplo con un tiempo de subida en el intervalo de  $\mu\text{s}$ . Debido a la parte fundamental altamente frecuente de un impulso de tensión de este tipo, la tensión se distribuye a lo largo de las vueltas individuales del arrollamiento de manera correspondiente a su capacidad respectiva. Dado que la capacidad, debido a la implantación del canal de refrigeración está distribuida ahora de manera no uniforme, resulta también una sollicitación de tensión no uniforme desventajosa del conductor, que habitualmente está diseñado a lo largo de toda su longitud para la misma sollicitación de tensión.

Partiendo de este estado de la técnica, es objetivo de la invención indicar un arrollamiento de transformador con distribución de tensión homogeneizada con carga de tensión transitoria.

45 Este objetivo se soluciona mediante un arrollamiento de transformador del tipo mencionado al principio. Éste se caracteriza por que dentro del al menos un canal de refrigeración al menos por secciones a lo largo de su perímetro radial está prevista una pantalla eléctrica plana que se extiende a lo largo de aproximadamente toda la longitud axial, a través de la que la distribución de capacidad eléctrica en el arrollamiento de transformador conectado eléctricamente es uniforme.

50 La idea fundamental de la invención consiste en dotar el espacio interior hueco-cilíndrico del al menos un canal de refrigeración, que se extiende en la mayoría de los casos a lo largo de toda la longitud axial del arrollamiento de transformador, de una pantalla eléctricamente conductora, interior respectiva, de modo que por un lado se reproduzcan las propiedades capacitivas de vueltas adicionales, que habría que prever sin la presencia de un canal de refrigeración en la misma, por ejemplo al menos en parte.

60 Por otro lado, la pantalla respectiva ha de diseñarse de tal manera que la función de refrigeración del canal de refrigeración no se vea influida negativamente, o en el caso ideal incluso se mejore. Esto se consigue mediante una configuración preferiblemente plana, de tipo chapa, de la pantalla respectiva, que está dispuesta a lo largo de la extensión axial del canal de refrigeración. Preferiblemente ha de evitarse una orientación de la pantalla, también en zonas parciales, en transversal a una dirección de flujo a través del canal de refrigeración respectivo, para no influir negativamente en el efecto de refrigeración. Un ejemplo de ello es una chapa que está prevista, por ejemplo enrollada en forma cilíndrica, en el canal de refrigeración. No obstante, será necesaria en ciertas zonas de la pantalla una ruptura respectiva, para permitir en la misma la separación necesaria de los dos módulos de arrollamiento radialmente contiguos, por ejemplo mediante nervios o cepos. También puede concebirse una segmentación de tipo cáscara cilíndrica de una pantalla.

En una configuración preferida del arrollamiento de transformador de acuerdo con la invención, el al menos un canal de refrigeración presenta una pared radialmente interior y una pared radialmente exterior, por la que está rodeada una cavidad de canal, estando dispuesta en al menos uno de los dos lados de pared dirigidos a la cavidad una pantalla eléctrica. Las paredes de este tipo que rodean la cavidad de canal, por un lado no son poco habituales en la configuración de un canal de refrigeración, incluso cuando no están previstas pantallas eléctricas adicionales en el mismo. De este modo, un canal de refrigeración de este tipo puede fabricarse mediante anidado uno en otro de dos piezas en bruto de un material de aislamiento con separación radial adicional de manera ventajosa. Por otro lado, durante la fabricación está prevista una pantalla eléctrica respectiva de manera correspondiente sin problemas en al menos uno de los dos lados dirigidos al canal de refrigeración interior. En este caso, además de la colocación de una pantalla de tipo chapa puede concebirse también cubrir el lado de pared en cuestión con un material de laca conductor.

Ha de indicarse que una disposición adicional de una pantalla, por ejemplo en el centro radial del canal de refrigeración, repercute de manera ventajosa para conseguir una distribución de capacidad lo más homogénea posible. Una pantalla instalada en el centro de esta manera aumenta además de manera ventajosa la superficie de interacción con el medio de refrigeración, aire, que fluye a través del canal de refrigeración, y mejora de este modo el efecto de refrigeración.

En una variantes de la invención adicional, la al menos una pantalla eléctrica está conectada de manera galvánica con una capa de arrollamiento radialmente adyacente. Esto repercute, según la configuración adicional del arrollamiento, positivamente en la distribución de potencial en el caso de una carga de tensión transitoria, pero también en la sollicitación de tensión de los conductores en el caso de funcionamiento estacionario con frecuencia de red.

De acuerdo con la invención, en el caso de arrollamientos de conductor en banda con una vuelta por capa de arrollamiento se ha demostrado que es ventajoso si la al menos una pantalla eléctrica está dispuesta en paralelo al eje de arrollamiento. En este caso, la distribución de potencial es constante a lo largo de la longitud axial del arrollamiento en cada capa de arrollamiento, por lo tanto la ha de seleccionarse también la alineación de la pantalla eléctrica, que se orienta en una distribución de potencial a esperar en el caso de sollicitación de tensión transitoria, en paralelo al eje de arrollamiento. Esto ha resultado ser la variante de disposición que menos influye en el flujo de medio de refrigeración a través del canal de refrigeración.

De manera correspondiente a una forma de configuración adicional de la invención, que está prevista para arrollamientos de transformador con varias vueltas realizadas axialmente adyacentes por capa de arrollamiento, la al menos una pantalla eléctrica está dispuesta en diagonal con respecto al eje de arrollamiento de manera correspondiente a una distribución de potencial eléctrico a esperar. En el caso de capas de arrollamiento axialmente adyacentes, concretamente a lo largo de la extensión axial del arrollamiento de transformador, está presente una caída de tensión, que se considera entonces por una disposición inclinada de manera correspondiente de la. Ésta ha de diseñarse sin embargo de tal manera que el flujo de aire a través del canal de refrigeración se influya lo menos posible.

En una variante de la invención especialmente preferida, están previstos varios módulos de arrollamiento axialmente contiguos con canal de refrigeración y pantalla eléctrica plana. Mediante una segmentación axial de este tipo, el ensamblado, en particular de grandes arrollamientos de por ejemplo 10 MVA de potencia y superior, se simplifica claramente. No obstante, los canales de refrigeración están diseñados en la mayoría de los casos de tal manera que están guiados a lo largo de la extensión axial común de todos los módulos de arrollamiento axialmente adyacentes.

Por consiguiente, de acuerdo con una variante adicional de la invención, un canal de refrigeración común se extiende a lo largo de toda la longitud axial de los módulos de arrollamiento axialmente contiguos, estando prevista al menos una pantalla eléctrica plana a lo largo de toda la longitud axial del canal de refrigeración. Para ello se simplifica adicionalmente la construcción.

En una configuración especialmente preferida de la invención están previstos dos arrollamientos separados de manera galvánica para tensiones nominales diferentes en cada caso. Éste es por ejemplo el caso cuando un arrollamiento de subtensión y un arrollamiento de sobretensión están dispuestos en el mismo cuerpo de bobina. Habitualmente el arrollamiento de subtensión, por ejemplo para una tensión nominal de 10 kV, está dispuesto radialmente hacia dentro y el arrollamiento de sobretensión, por ejemplo para una tensión nominal de 30 kV, está dispuesto radialmente hacia fuera. Cada uno de estos arrollamientos separados de manera galvánica puede estar construido de acuerdo con la invención a partir de módulos de arrollamiento con canales de refrigeración dispuestos entremedias con pantalla eléctrica respectiva. Las ventajas de un arrollamiento de transformador de acuerdo con la invención se revelan también para un transformador con núcleo de transformador y al menos uno, pero preferiblemente tres arrollamientos de transformador. Con ello se permite la utilización en una red de suministro de energía trifásica.

Posibilidades de configuraciones ventajosas adicionales se desprenden de las reivindicaciones dependientes adicionales.

Por medio de los ejemplos de realización representados en los dibujos se describirán en detalle la invención, formas de realización adicionales y ventajas adicionales.

Muestran:

- 5  
 la figura 1 una vista desde arriba de un primer arrollamiento de transformador a modo de ejemplo,  
 la figura 2 una vista en sección a través de un segundo arrollamiento de transformador a modo de ejemplo,  
 la figura 3 una vista en sección parcial a través de un tercer arrollamiento de transformador a modo de ejemplo,  
 así como  
 10 la figura 4 una vista en sección parcial a través de un cuarto arrollamiento de transformador a modo de ejemplo

La figura 1 muestra una vista desde arriba 10 de un primer arrollamiento de transformador a modo de ejemplo. Alrededor de un eje de arrollamiento común 18 está dispuesto un primer módulo de arrollamiento hueco-cilíndrico 12, que comprende por ejemplo varias capas arrolladas una sobre otra de un conductor de banda. Radialmente  
 15 hacia fuera sigue una pared radialmente interior 26 y una pared radialmente exterior 28, que están separadas radialmente entre sí por ceptos de separación 30. Entre las dos paredes aislantes 26, 28 está formado el verdadero canal de refrigeración 16, que en el funcionamiento del arrollamiento por ejemplo como parte componente de un transformador trifásico está refrigerado por aire que fluye de abajo a arriba. En el canal de refrigeración 16 están indicadas además dos pantallas eléctricas cilíndricas 20, 22, que consisten por ejemplo principalmente en un  
 20 material de chapa conductor adecuado. Para poder colocar los ceptos de separación 30 entre las paredes 26, 28, es necesaria al menos la ruptura parcial de las pantallas eléctricas 20, 22.

Radialmente hacia fuera sigue un segundo módulo de arrollamiento 14, que presenta así mismo varias capas de un  
 25 conductor eléctrico, que, sin embargo, no están indicadas en la figura. Una conexión eléctrica en serie de las dos partes de arrollamiento está indicada con un elemento de conexión en serie 24, por ejemplo un perfil de aluminio o un segmento conductor guiado radialmente a través del canal de refrigeración. El calor cedido por los módulos de arrollamiento en el caso de funcionamiento se transmite a través de las paredes 26, 28 al canal de refrigeración 16 e incide también sobre las pantallas eléctricas 20, 22. El flujo de aire a través del canal de refrigeración 16 no se ve  
 30 influido negativamente por la disposición de las pantallas eléctricas 20, 22, se consigue incluso un mejor efecto de refrigeración. La radiación térmica calienta en concreto las dos pantallas eléctricas 20, 22 que forman entonces una superficie de intercambio aumentada para el intercambio de calor con el aire de refrigeración. Naturalmente pueden concebirse otros canales de refrigeración que siguen radialmente hacia fuera y otros módulos de arrollamiento que siguen radialmente hacia fuera.

La figura 2 muestra una vista en sección 40 a través de un segundo arrollamiento de transformador a modo de ejemplo. Alrededor de un eje de arrollamiento común 50 están dispuestos radialmente hacia dentro un tercer módulo de arrollamiento 42 y un cuarto módulo de arrollamiento axialmente contiguo 44, por ejemplo con una pluralidad de vueltas de un hilo de cobre aislado. Radialmente hacia fuera sigue un canal de refrigeración 52, que está guiado a lo largo de toda la longitud axial de los módulos de arrollamiento axialmente contiguos 42, 44. En el propio canal de  
 40 refrigeración 52 está dispuesta una pantalla eléctrica 54, radialmente hacia dentro, que pasa por la longitud axial de los dos módulos de arrollamiento 42, 44, estando dispuesta radialmente hacia fuera en el canal de refrigeración 52 una pantalla dividida en dos partes 56, 58. Ambas partes de pantalla 56, 58 corresponden en su extensión axial a la extensión axial de módulos de arrollamiento 46, 48 axialmente contiguos y que sigue en cada caso radialmente hacia fuera al canal de refrigeración 52. Los cuatro módulos de arrollamiento 42, 44, 46, 48 están conectados  
 45 eléctricamente en serie. Según el tipo de conexión en serie o también de manera correspondiente a las condiciones de borde constructivas puede ser útil una división de la pantalla radialmente exterior en una primera parte de pantalla 56 y una segunda parte de pantalla 58. Habitualmente ha de suponerse que todos los módulos de arrollamiento que se encuentran radialmente hacia el interior 42, 44 están conectados en serie y entonces tiene lugar una conexión en serie con los módulos de arrollamiento que se encuentran radialmente hacia fuera 46, 48.  
 50

La figura 3 muestra una vista en sección parcial 60 a través de un tercer arrollamiento de transformador a modo de ejemplo. Alrededor de un eje de arrollamiento común 62 está dispuesto un séptimo módulo de arrollamiento 64 de forma hueco-cilíndrica, que se encuentra radialmente hacia dentro, al que le siguen radialmente hacia fuera un canal de refrigeración hueco-cilíndrico 68 y un octavo módulo de arrollamiento hueco-cilíndrico 68. Los dos módulos de  
 55 arrollamiento 64, 66 están indicados como arrollamiento de conductor en banda con una única vuelta de un conductor de banda 70 por capa de arrollamiento y con varias capas de arrollamiento. En el interior del canal de refrigeración 68 están indicadas dos pantallas eléctricas 72, 74, que se extienden en paralelo al eje de arrollamiento 62 y a lo largo casi de toda la longitud axial de los módulos de arrollamiento 64, 66. Debido a la distribución de potencial constante que cabe esperar en el conductor de banda 70 a lo largo de su extensión axial, las pantallas eléctricas 72, 74 han de disponerse así mismo en paralelo, estando conectadas de manera galvánica ambas pantallas 72, 74 con la capa en cada caso contigua del conductor de banda 70 a través de elementos de conexión 76. Para ello se reduce eléctricamente el espacio intermedio radial entre las dos vueltas de conductor de banda que rodean radialmente al canal de refrigeración 68, con lo que se consigue un aumento de la capacidad.  
 60

La figura 4 muestra una vista en sección parcial 80 a través de un cuarto arrollamiento de transformador a modo de ejemplo. También en este caso, alrededor de un eje de arrollamiento común 82 están dispuestos dos módulos de

arrollamiento hueco-cilíndricos anidados uno en otro, comprendiendo una capa de arrollamiento ahora varias vueltas adyacentes 84 o 88 de un conductor redondo. Radialmente entre los módulos de arrollamiento está dispuesto un canal de refrigeración 90 con pantallas eléctricas 92, 94. Debido a las varias vueltas por capa de arrollamiento, en el caso de una carga de tensión transitoria no cabe esperar ninguna distribución de potencial, que sea constante a lo largo de la extensión axial de los módulos de vuelta. Por lo tanto, las pantallas eléctricas 92, 94 están dispuestas ligeramente arrolladas, por ejemplo  $1^\circ - 10^\circ$  con respecto al eje de arrollamiento 82, para garantizar así una distribución de tensión lo más homogénea posible. La disposición de módulos de arrollamiento y canales de refrigeración alrededor de un eje de rotación común no tiene que ser forzosamente redonda, con respecto a las alas de transformador, que opcionalmente son aproximadamente redondas, es posible adaptar la forma del arrollamiento de manera correspondiente y aproximarla según sea necesario a un rectángulo.

Lista de números de referencia

10	vista desde arriba de un primer arrollamiento de transformador a modo de ejemplo
15	12 primer módulo de arrollamiento
	14 segundo módulo de arrollamiento
20	16 primer canal de refrigeración
	18 eje de arrollamiento
	20 primera pantalla eléctrica
25	22 segunda pantalla eléctrica
	24 conexión eléctrica en serie
30	26 pared radialmente interior
	28 pared radialmente exterior
	30 separación
35	40 vista en sección a través de un segundo arrollamiento de transformador a modo de ejemplo
	42 tercer módulo de arrollamiento
40	44 cuarto módulo de arrollamiento
	46 quinto módulo de arrollamiento
	48 sexto módulo de arrollamiento
45	50 eje de arrollamiento
	52 segundo canal de refrigeración
50	54 tercera pantalla eléctrica
	56 cuarta pantalla eléctrica
	58 quinta pantalla eléctrica
55	60 vista en sección parcial a través de un tercer arrollamiento de transformador a modo de ejemplo
	62 eje de arrollamiento
60	64 séptimo módulo de arrollamiento
	66 octavo módulo de arrollamiento
	68 tercer canal de refrigeración
65	70 conductor de banda del séptimo módulo de arrollamiento

## ES 2 406 408 T3

	72	sexta pantalla eléctrica
	74	séptima pantalla eléctrica
5	76	conexión galvánica con la pantalla eléctrica
	80	vista en sección parcial a través de un cuarto arrollamiento de transformador a modo de ejemplo
	82	eje de arrollamiento
10	84	vueltas de conductor eléctrico del octavo módulo de arrollamiento
	88	vueltas de conductor eléctrico del noveno módulo de arrollamiento
15	90	cuarto canal de refrigeración
	92	octava pantalla eléctrica
	94	novena pantalla eléctrica
20		

**REIVINDICACIONES**

1. Arrollamiento de transformador (10, 40, 60, 80), con al menos dos módulos de arrollamiento de varias capas (12, 14, 42, 44, 46, 48, 64, 66) anidados uno en otro de manera hueca-cilíndrica, conectados eléctricamente en serie  
 5 (24), que se extienden alrededor de un eje de arrollamiento común (18, 50, 62, 82), con al menos un canal de refrigeración (16, 52, 68, 90), que está dispuesto a lo largo del mismo eje de arrollamiento (18, 50, 62, 82) de manera hueca-cilíndrica entre los módulos de arrollamiento (12, 14, 42, 44, 46, 48, 64, 66), **caracterizado por que** dentro del al menos un canal de refrigeración (16, 52, 68, 90) al menos por secciones a lo largo de su perímetro radial está prevista una pantalla eléctrica plana (20, 22, 54, 56, 58, 72, 74, 92, 94) que se extiende a lo largo de  
 10 aproximadamente toda la longitud axial, a través de la que la capacidad eléctrica en el arrollamiento de transformador conectado eléctricamente en serie está distribuida de manera uniforme.
2. Arrollamiento de transformador de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el canal de refrigeración (16, 52, 68, 90) presenta una pared radialmente interior (26) y una pared radialmente exterior (28), por la que está rodeada una cavidad de canal y por que en al menos uno de los dos lados de pared dirigidos a la  
 15 cavidad está dispuesta una pantalla eléctrica (20, 22, 54, 56, 58, 72, 74, 92, 94).
3. Arrollamiento de transformador de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado por que** al menos una pantalla eléctrica (20, 22, 54, 56, 58, 72, 74, 92, 94) está conectada (76) de manera galvánica con una  
 20 capa de arrollamiento radialmente adyacente.
4. Arrollamiento de transformador de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el arrollamiento de transformador está realizado como arrollamiento de conductor en banda (70) con una vuelta por  
 25 capa de arrollamiento y la al menos una pantalla eléctrica (20, 22, 54, 56, 58, 72, 74, 92, 94) está dispuesta en paralelo al eje de arrollamiento (18, 50, 62, 82).
5. Arrollamiento de transformador de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** los módulos de arrollamiento (12, 14, 42, 44, 46, 48, 64, 66) están realizados con varias vueltas axialmente adyacentes  
 30 (84, 88) por capa de arrollamiento y la al menos una pantalla eléctrica (92, 94) está dispuesta en diagonal con respecto al eje de arrollamiento (18, 50, 62, 82) de manera correspondiente a una distribución de potencial eléctrico que cabe esperar.
6. Arrollamiento de transformador de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**  
 35 varios módulos de arrollamiento axialmente contiguos (12, 14, 42, 44, 46, 48, 64, 66) están dotados de canal de refrigeración (16, 52, 68, 90) y pantalla eléctrica plana (20, 22, 54, 56, 58, 72, 74, 92, 94).
7. Arrollamiento de transformador de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado por que** al menos un canal de refrigeración común (52) se extiende a lo largo de toda la longitud axial de los módulos de arrollamiento axialmente  
 40 contiguos y la al menos una pantalla eléctrica plana (54) está prevista a lo largo de toda la longitud axial del canal de refrigeración (52).
8. Arrollamiento de transformador de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**  
 45 están previstos dos arrollamientos separados de manera galvánica para tensiones nominales diferentes en cada caso.
9. Transformador que comprende un núcleo de transformador y al menos un arrollamiento de transformador de acuerdo con la reivindicación 8.

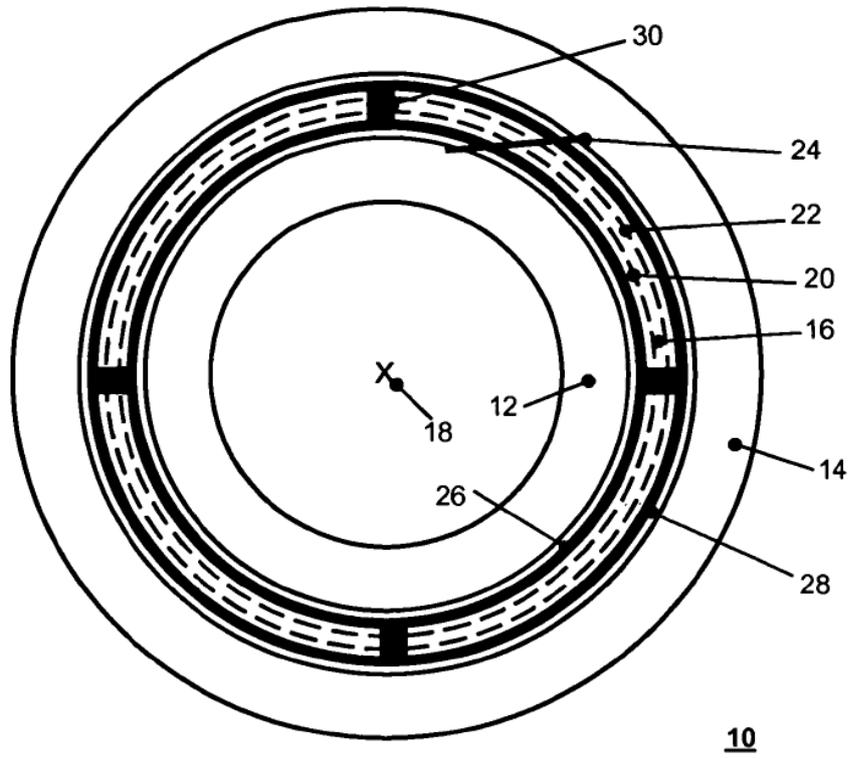


Fig. 1

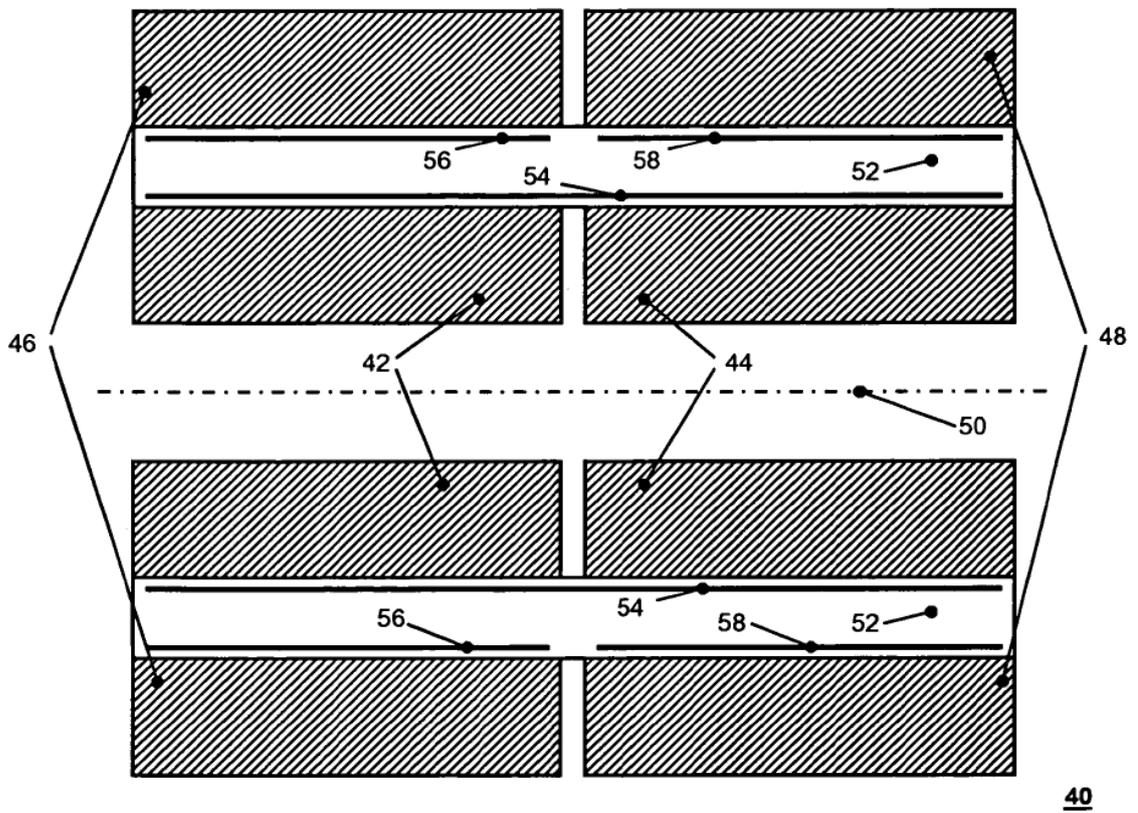


Fig. 2

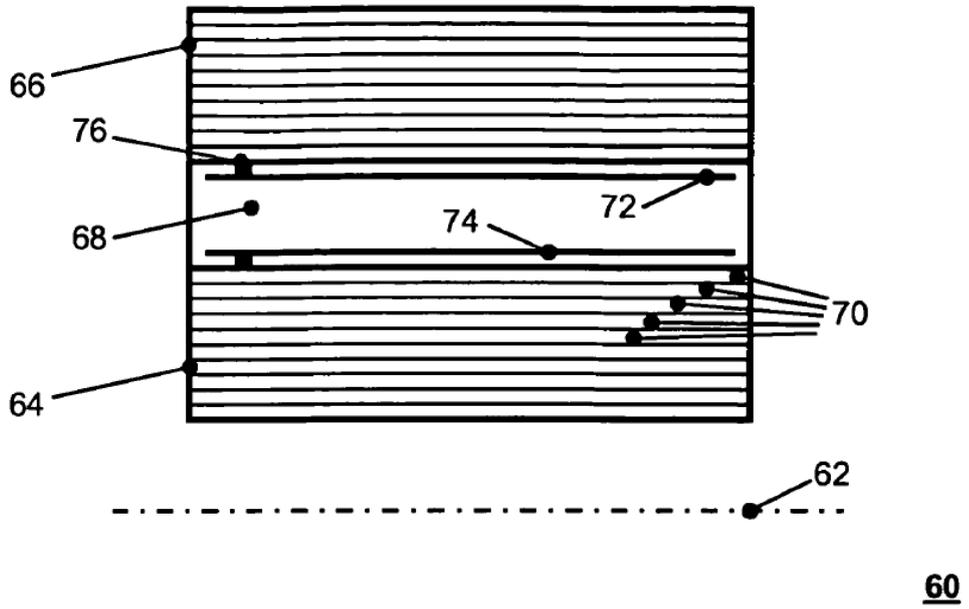


Fig. 3

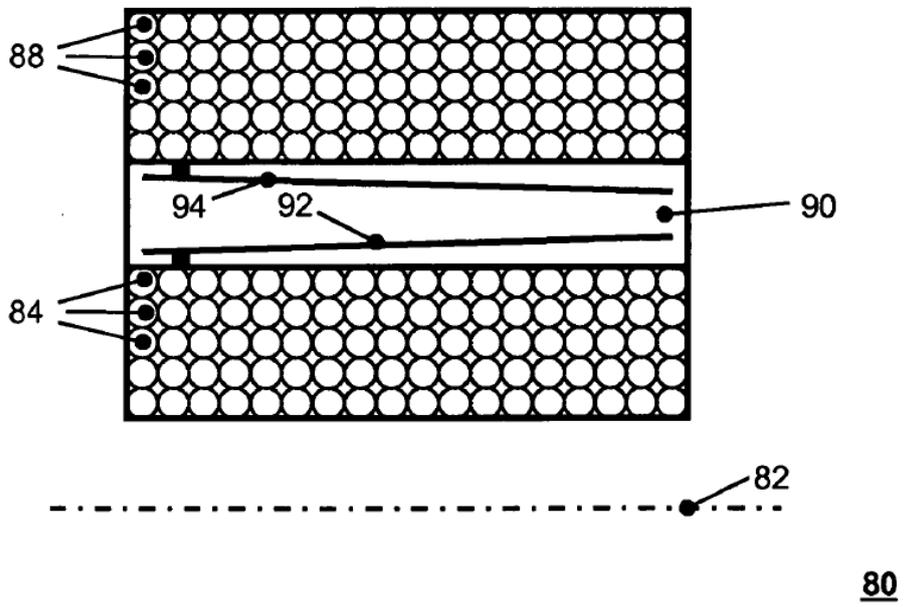


Fig. 4