

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 380 816**

51 Int. Cl.:  
**H01B 3/18** (2006.01)  
**H01B 3/44** (2006.01)  
**H01B 3/02** (2006.01)  
**H01F 27/32** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07122336 .6**  
96 Fecha de presentación: **05.12.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1933332**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.06.2008**

54 Título: **Sistemas de aislamiento y procedimiento para un transformador**

30 Prioridad:  
**15.12.2006 US 639725**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**18.05.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**18.05.2012**

73 Titular/es:  
**GENERAL ELECTRIC COMPANY**  
**1 River Road**  
**Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:  
**Tan, Qi;**  
**Irwin, Patricia Chapman;**  
**Cao, Yang y**  
**Younsi, Abdelkrim**

74 Agente/Representante:  
**Carpintero López, Mario**

ES 2 380 816 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**

Sistemas de aislamiento y procedimiento para un transformador

La invención se refiere, en general, a sistemas aislantes para máquinas eléctricas y a devanados de máquinas y, más específicamente, a un sistema de aislamiento que tiene propiedades dieléctricas no lineales.

5 Las máquinas y los dispositivos eléctricos, tales como generadores, motores, actuadores, transformadores, etc., están sometidos constantemente a estrés eléctrico, mecánico, térmico y medioambiental. Dicho estrés tiende a degradarlos, reduciendo, en consecuencia, sus vidas útiles. En un ejemplo, un campo magnético estático se mantiene después de desconectar la alimentación de energía eléctrica en un núcleo de acero de transformadores debido a la remanencia magnética. Cuando se aplica de nuevo energía eléctrica, el campo residual genera una corriente de entrada alta hasta que se reduce el efecto de la remanencia magnética, generalmente después de unos pocos ciclos de corriente alterna aplicada. Los dispositivos de protección contra sobrecargas eléctricas tales como fusibles de transformadores conectados a líneas aéreas de transmisión de corriente eléctrica a larga distancia son incapaces de proteger los transformadores contra corrientes eléctricas inducidas debidas a perturbaciones geomagnéticas durante tormentas eléctricas que pueden provocar la saturación del núcleo de acero y un funcionamiento erróneo de los dispositivos de protección de transformadores. Se ha observado habitualmente que el deterioro del aislamiento de los dispositivos anteriores es un factor dominante de sus averías.

Los sistemas de aislamiento de máquinas eléctricas tales como generadores, motores y transformadores se encuentran en constante desarrollo para mejorar el funcionamiento de las máquinas. Los materiales que se usan en general en el aislamiento eléctrico incluyen películas de polimida, materiales compuestos de epoxi-fibra de vidrio y cinta de mica. Los materiales aislantes necesitan tener generalmente unas propiedades mecánicas y físicas que puedan soportar diversos rigores eléctricos de las máquinas eléctricas tales como sobretensiones por tormentas eléctricas y sobretensiones de maniobra. Además, algunas de las propiedades deseables de un sistema aislante incluyen soportar variaciones extremas de temperatura de operación y una vida útil larga.

Los materiales aislantes mencionados anteriormente tienen una constante dieléctrica esencialmente constante que los protege de la conducción eléctrica sobre la base de la rigidez dieléctrica respectiva de los materiales compuestos. No obstante, determinados factores tales como las temperaturas de operación, el medio ambiente, estrés de voltaje, sobretensión de ciclo térmico y sobretensión transitoria provocadas por tormentas eléctricas y conmutaciones deterioran los materiales aislantes durante un largo periodo de tiempo, reduciendo de este modo su vida útil u operativa.

El documento US 4219791 divulga un aparato de inducción eléctrica que incluye un dieléctrico aislante que rodea una pluralidad de devanados. La estructura del aislamiento comprende un adhesivo o aglutinante tal como una resina orgánica cargada con microesferas de vidrio o sílice.

El documento US 4212914 divulga un material aislante eléctrico que se usa para aislar devanados eléctricos de transformadores, por ejemplo. El material comprende goma fluorada, materiales que contienen mica, resina, agentes reticulantes, estando compuesto el resto del material por cargas. Opcionalmente se incluye también goma sintética.

El documento DE 4 438 187 divulga el uso de cargas dieléctricas no lineales de óxido de cinc y carburo de silicón en las capas de aislamiento de devanados de transformadores.

Por lo tanto, sería deseable proporcionar un sistema de aislamiento que solucione los problemas mencionados anteriormente y cumpla con las exigencias de aplicaciones industriales.

La presente invención proporciona un transformador según la reivindicación 1 y un procedimiento para crear un aislamiento en el mismo según la reivindicación 6.

Se entenderán mejor diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención cuando se lea la descripción detallada siguiente con referencia a las figuras adjuntas en las que números similares representan partes similares en todas las figuras, en las que:

FIG. 1: es una vista en perspectiva de un transformador que incluye un núcleo magnético con devanados que usa un material dieléctrico no lineal o variable como aislamiento según una realización de la invención;

FIG. 2: es una vista en sección vertical del transformador de la FIG. 1 que ilustra múltiples espiras de los devanados;

FIG. 3: es una vista en sección transversal del sistema de aislamiento dieléctrico no lineal de la FIG. 2 según una realización de la invención;

FIG. 4: es una ilustración esquemática de una esquina del devanado de la FIG. 2 que experimenta un estrés eléctrico;

FIG. 5: es una comparación gráfica de la constante dieléctrica en función de la intensidad del campo eléctrico de

una película de poli(fluoruro de vinilideno) sin y con cargas, todo lo cual puede usarse en una máquina eléctrica y con devanados según una realización de la invención; y

FIG. 6: es una ilustración gráfica de la resistencia al campo eléctrico alrededor de la esquina de la FIG. 4.

5 Tal como se ha expuesto en detalle anteriormente, diversas realizaciones de la invención incluyen un sistema de aislamiento que usa materiales con propiedades dieléctricas no lineales o variables. Tal como se usa en el presente documento, la expresión "no lineal" se refiere a un cambio no uniforme de altos voltajes tales como, pero sin estar limitado a, transformadores. El sistema de aislamiento incluye una propiedad de adaptación inherente de tal modo que la constante dieléctrica del dieléctrico no lineal puede aumentar en ubicaciones del aislamiento de la máquina que experimentan un estrés eléctrico alto y proporciona a la máquina una protección eléctrica deseable. La protección eléctrica se obtiene suavizando el estrés eléctrico y reduciendo la intensidad del campo eléctrico local.

10 Volviendo a las figuras, la FIG. 1 es una vista en perspectiva de un transformador 10 que incluye un tanque 12. El transformador 10, en la realización ilustrada, es un transformador trifásico de núcleo y envoltura. En otra realización, el transformador 10 puede ser un transformador monofásico. El transformador 10 incluye un núcleo magnético 14 que tiene una primera sección de núcleo 16 y una segunda sección de núcleo 18 que tiene al menos una abertura 20 y están dispuestas de forma adyacente entre sí. En una realización particular la primera sección del núcleo 16 y la segunda sección del núcleo 18 pueden incluir tres aberturas 20 cada una. La primera sección del núcleo 16 y la segunda sección del núcleo 18 también pueden incluir múltiples apilamientos laminados 22 superpuestos. En una realización particular los apilamientos laminados 22 pueden incluir apilamientos laminados hechos de un metal tal como, pero sin limitarse a, acero. El transformador 10 puede incluir también fases de devanado eléctrico 24, 26 y 28. Cada una de las fases de devanado eléctrico 24, 26 y 28 puede incluir múltiples devanados 30 que están aislados por una capa dieléctrica no lineal (no mostrada) y apilados de forma adyacente entre sí. Los devanados 30 pueden rodear a la primera sección del núcleo 16 y la segunda sección del núcleo 18 a través de las aberturas 32 y la abertura 20.

15 La FIG. 2 es una vista en sección vertical del transformador 10 de la FIG. 1 que ilustra los devanados 30. Los devanados 30 pueden incluir un material conductor que está enrollado en espiral formando espiras múltiples 36, 38 y 40. En una realización particular, el alambre conductor que se usa es generalmente un alambre magnético. El alambre magnético es un alambre de cobre con un recubrimiento de barniz o algún otro recubrimiento sintético. En un ejemplo no limitante, el número de espiras puede variar en el intervalo entre aproximadamente unas pocas y aproximadamente miles dependiendo de la potencia y la aplicación.

20 La FIG. 3 es una vista en sección transversal de los devanados 30 de la FIG. 2. Cada una de las espiras 36, 38 y 40, tal como se hace referencia en la FIG. 2, incluyen filamentos externos 42, 44 y 46 respectivamente. De forma similar, las espiras 36, 38 y 40 incluyen filamentos internos 48, 50 y 52 respectivamente. Los filamentos 42 y 48 están dispuestos en una hilera de filamentos en cada espira 36 de tal modo que las espiras múltiples 36, 38 y 40 puedan estar dispuestas en una disposición en paralelo. Puede aplicarse una capa de aislamiento dieléctrico no lineal 54 alrededor de cada uno de los filamentos externos 42, 44 y 46. De forma similar, puede aplicarse una capa de aislamiento dieléctrico no lineal 54 alrededor de cada uno de los filamentos 48, 50 y 52. Además, puede aplicarse una capa de aislamiento dieléctrico no lineal 56 entre las espiras 36, 38 y 40. En la realización contemplada actualmente, la constante dieléctrica de las capas de aislamiento dieléctrico no lineal 54 y 56 aumenta con el voltaje o un campo eléctrico lineal.

25 La FIG. 3 es una vista en sección transversal de los devanados 30 de la FIG. 2. Cada una de las espiras 36, 38 y 40, tal como se hace referencia en la FIG. 2, incluyen filamentos externos 42, 44 y 46 respectivamente. De forma similar, las espiras 36, 38 y 40 incluyen filamentos internos 48, 50 y 52 respectivamente. Los filamentos 42 y 48 están dispuestos en una hilera de filamentos en cada espira 36 de tal modo que las espiras múltiples 36, 38 y 40 puedan estar dispuestas en una disposición en paralelo. Puede aplicarse una capa de aislamiento dieléctrico no lineal 54 alrededor de cada uno de los filamentos externos 42, 44 y 46. De forma similar, puede aplicarse una capa de aislamiento dieléctrico no lineal 54 alrededor de cada uno de los filamentos 48, 50 y 52. Además, puede aplicarse una capa de aislamiento dieléctrico no lineal 56 entre las espiras 36, 38 y 40. En la realización contemplada actualmente, la constante dieléctrica de las capas de aislamiento dieléctrico no lineal 54 y 56 aumenta con el voltaje o un campo eléctrico lineal.

30 En una realización particular, el aislamiento dieléctrico no lineal puede incluir un material compuesto mixto de una tela de vidrio, un aglutinante epoxi, papel de mica y una carga de un tamaño que oscila desde al menos aproximadamente de 5 nm. Algunos ejemplos no limitantes de la carga pueden incluir carga a escala micrométrica y carga a escala nanométrica. Tal como se ha indicado anteriormente, dichas cargas pueden incluir circonato de plomo, hafnato de plomo, titanato circonato de plomo, titanato estannato circonato de plomo dotado con lantano, niobato de bario, titanato de estroncio, titanato de bario y estroncio y niobato de plomo y magnesio. En otro ejemplo, el aislamiento dieléctrico no lineal puede incluir polieterimidias, polietileno, poliéster, polipropileno, politetrafluoroetileno, poli(fluoruro de vinilo) y copolímeros de poli(fluoruro de vinilideno). Algunos ejemplos no limitantes de mica pueden incluir moscovita, flogopita, anandita, anita, biotita y bitita. La tela de vidrio puede tener cantidades variables de densidad de tejido. Algunos ejemplos no limitantes de la tela de vidrio se enumeran a continuación en la tabla 1.

# ES 2 380 816 T3

Tabla 1

Estilo	Tejido	Recuento de urdimbre	Trama de hilos	Peso		Espesor		Resistencia	
				oz/yard <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>	mili-pulgadas	mm	Urdimbre lbf/in (N/mm)	Trama lbf/m (N/mm)
1076	plano	60	25	0,96	33	1,8	0,05	120 (21)	20 (3,5)
1070	plano	60	35	1,05	36	2	0,05	100 (17,5)	25 (4)
6060	plano	60	60	1,19	40	1,9	0,05	75 (13)	75 (13)
1080	plano	60	47	1,41	48	2,2	0,06	120 (21)	90 (16)
108	plano	60	47	1,43	48	2,5	0,06	80 (14)	70 (12)
1609	plano	32	10	1,48	50	2,6	0,07	160 (28)	15(3)
1280 /1086 MS	plano	60	60	1,59	54	2,1	0,05	120 (21)	120 (12)

Se han enumerado diversas densidades de tejido, pesos, espesor y resistencias. Un primer ejemplo de la tela de vidrio es un tipo de vidrio 1076 con un tejido plano que tiene un recuento de urdimbre de 60 y un peso de 33 g/m<sup>2</sup>. Similarmente, otro ejemplo incluye los tipos de vidrio 1070, 6060, 1080, 108, 1609 y 1280. El vidrio actúa como soporte mecánico para el sistema de aislamiento y también añade contenido inorgánico al material compuesto que mejora la conductividad térmica del sistema de material compuesto final. La mica actúa como aislamiento primario para el material compuesto. El aglutinante epoxi es la única porción orgánica del sistema de aislamiento del material compuesto y actúa como pegamento para mantener el sistema unido. Además, la carga no lineal proporciona la respuesta no lineal al sistema de aislamiento y también mejora la conductividad térmica del material compuesto. Puede experimentarse un estrés de campo eléctrico en los filamentos externos 42, 44 y 46 y en los filamentos internos 48, 50 y 52. Existe también un alto grado de estrés de campo eléctrico medido en las esquinas de las espiras 36, 38 y 40 durante la operación del transformador. Las capas de aislamiento dieléctrico no lineal 54 y 56 posibilitan una distribución más uniforme del campo eléctrico y alivian regiones que experimentan un estrés eléctrico alto.

Existen varias formas para incorporar una carga en un material compuestos de aislamiento. Algunos ejemplos no limitantes incluyen la extrusión de la carga y el polímero formando un sistema polimérico cargado, la dispersión en disolvente de la carga y el polímero con subsiguiente evaporación del disolvente formando una película y usando técnicas de serigrafía o recubrimiento por inmersión para incorporar la carga en los puntos de cruce del tejido y fibras de trama de tela de vidrio. Además, se ha hallado que el tratamiento con silano tal como, pero sin limitarse a, 3-glicidoxipropil trimetoxisilano de la carga y el vidrio es importante para la adhesión deseada de la carga a la tela de vidrio y la estructura final del material compuesto. La elección del procedimiento de incorporación de la carga depende de la estructura final del material compuesto de aislamiento. En un ejemplo, las películas poliméricas cargadas usan habitualmente extrusión o dispersión en disolvente. En otra realización, las cintas de mica, la tela de vidrio y la resina epoxi usan habitualmente serigrafía o recubrimiento por inmersión en la técnica de tela de vidrio.

La FIG. 4 es un ejemplo de ilustración esquemática de estrés de campo eléctrico en la esquina 60 de la espira 36 en el devanado 30 de la FIG. 2. La esquina 60 puede incluir una capa de aislamiento dieléctrico no lineal 56 tal como se indica en la figura FIG. 3. La esquina 60 es una región de la espira 36 que puede experimentar un estrés de campo eléctrico máximo durante la operación. Es deseable reducir el estrés eléctrico. La reducción del estrés eléctrico puede aumentar el valor del voltaje del transformador. La capa de aislamiento dieléctrico no lineal 56, tal como se indica en la FIG. 3, distribuye el campo eléctrico uniformemente en la esquina 60 para minimizar el estrés que ha tenido lugar debido a una distribución irregular del campo eléctrico. Al aumentar el estrés de campo eléctrico en la esquina 60, la capa dieléctrica no lineal 56 se adapta en consecuencia para proporcionar una distribución de campo eléctrico 62 más uniforme alrededor de la esquina 60 que estaría presente si se usaran materiales de resistencia dieléctrica uniforme, protegiendo de este modo la espira 36 de potenciales daños eléctricos.

En otra realización ilustrada de la invención, puede proporcionarse un procedimiento 70 para crear un aislamiento en un transformador. Puede disponerse una capa de aislamiento que tiene una constante dieléctrica que varía en

función del voltaje o campo eléctrico alrededor de al menos una porción de un devanado en la etapa 72. En una realización particular, la capa aislante puede disponerse alrededor de la esquina del devanado. En otra realización, la capa aislante puede disponerse entre filamentos múltiples del devanado. En otra realización, la capa aislante puede ser de mica, resina epoxi, tela de vidrio y estar como carga cerámica. En otra realización más, la tela de vidrio y la carga cerámica pueden recubrirse con silano. En una realización contemplada actualmente, la carga cerámica puede estar unida a la tela de vidrio mediante una técnica de serigrafía o recubrimiento por inmersión.

#### Ejemplos:

Los ejemplos siguientes son meramente ilustrativos y no deben usarse para limitar el alcance de la invención reivindicada.

La FIG. 5 es una comparación gráfica 90 de constante dieléctrica en función de la intensidad de campo eléctrico para una película de poli(fluoruro de vinilideno) sin cargas y con cargas. El eje X 92 representa la intensidad de campo eléctrico en kV/mm. El eje Y 94 representa la constante dieléctrica de la película de PVDF. La curva 96 representa la constante dieléctrica de una película de PVDF sin carga. Como puede observarse, la constante dieléctrica no varía significativamente en función de la intensidad de campo eléctrico. La curva 98 representa la constante dieléctrica de una película de PVDF con un 20 % por volumen de una microcarga de circonato de plomo. Similarmente, las curvas 100, 102 y 104 representan la constante dieléctrica como función de la intensidad de campo eléctrico para una película de PVDF con un 20 % en volumen de una nanocarga de circonato de plomo y un 40 % en volumen de una nanocarga de circonato de plomo, respectivamente. Tal como se observa, la constante dieléctrica aumenta significativamente desde aproximadamente 30 a un máximo de aproximadamente 80 en función de la intensidad de campo eléctrico en el caso del 40 % en volumen de una nano carga de circonato de plomo. Por lo tanto, la adición de nanocargas en la película de PVDF aumenta la variación de la constante dieléctrica con el campo eléctrico y aumenta la adaptabilidad de un sistema de aislamiento a fluctuaciones de estrés de campo eléctrico.

La FIG. 6 es una ilustración gráfica 110 del perfil de campo eléctrico en la esquina 60 de la FIG. 4 en función de la distancia a un conductor tal como una espira 36 de la FIG. 2 que tiene una capa de aislamiento dieléctrico no lineal. El eje X 112 representa la distancia a la espira 36 a través de la capa de aislamiento dieléctrico no lineal en mm. El eje Y 114 representa la intensidad de campo eléctrico en kilovoltios/mm. Como puede observarse en la curva 116, el campo eléctrico es estable a desde 10 kV/mm con la distancia a la espira 36. En electrostática, el producto de la constante dieléctrica y el campo eléctrico depende de la diferencia de potencial y las propiedades dieléctricas del medio. Si la constante dieléctrica se mantuviera constante, el campo eléctrico local en la superficie adyacente a un elemento conductor eléctrico sería muy alto debido a su superficie relativamente pequeña. El campo eléctrico, entonces, disminuiría y alcanzaría un mínimo en la superficie más externa del aislamiento que es un potencial básico. No obstante, si se permitiera a la constante dieléctrica aumentar con el campo eléctrico, este efecto de compensación forzaría una uniformidad a lo largo de la totalidad del material tal como se muestra. De este modo, la capa de aislamiento dieléctrico no lineal proporciona una distribución de campo generalmente uniforme dentro del conductor, eliminando o reduciendo la posibilidad de daños eléctricos en el conductor.

De modo beneficioso, el sistema y el procedimiento de aislamiento descrito anteriormente son capaces de suprimir el voltaje de ondulación y sobretensiones de corriente repentinas en transformadores. Además, la supresión de voltajes transitorios asegura una vida útil más larga para los transformadores. El uso de dichos sistemas de aislamiento también ayuda a prestar atención a los factores mencionados anteriormente sin un aumento significativo del tamaño de los transformadores.

Aunque en el presente documento se han ilustrado y descrito sólo determinadas características de la invención, los expertos en la técnica plantearán muchas modificaciones y cambios. Debe entenderse, por lo tanto, que se pretende que las reivindicaciones adjuntas cubran todas las modificaciones y cambios que se encuentren dentro del espíritu de la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Un transformador (10) que comprende:

5 un núcleo magnético (14) que comprende una pluralidad de apilamientos laminados (22) que tiene al menos una  
abertura; y una pluralidad de devanados (30) que comprenden un material conductor alrededor del núcleo  
magnético (14) a través de la al menos una abertura y rodeados por una capa aislante (54) **caracterizado porque**  
la capa aislante (54) incluye un material de carga que proporciona una respuesta no lineal a un campo eléctrico, por  
lo que la capa tiene una constante dieléctrica que varía en función del voltaje, y la capa aislante (54) está dispuesta  
en una pluralidad de esquinas (60) de cada devanado de la pluralidad de devanados (30).

10 2. El transformador (10) de la reivindicación 1, en el que la capa aislante (54) está dispuesta entre la pluralidad de  
devanados (30).

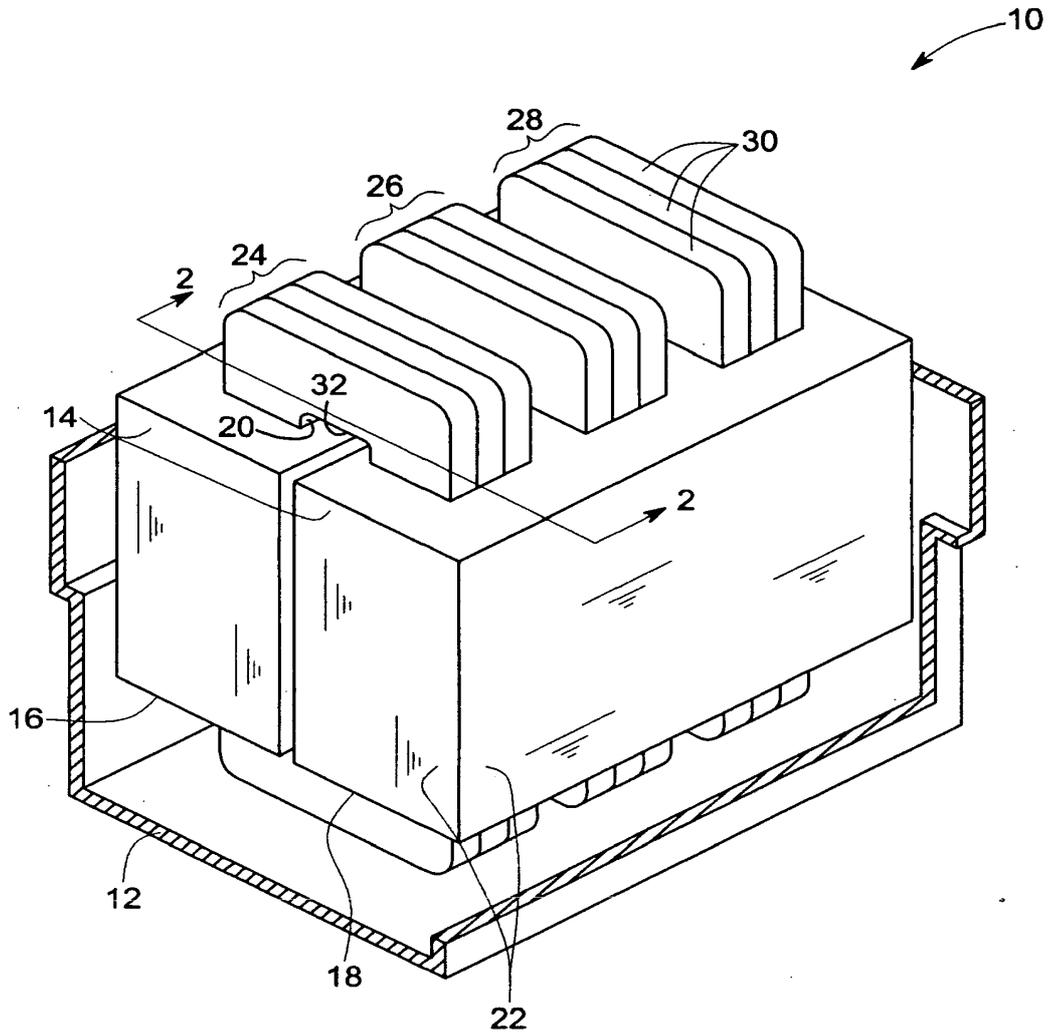
3. El transformador (10) de cualquier reivindicación precedente, en el que la capa aislante (54) está dispuesta entre  
una pluralidad de filamentos en cada devanado de la pluralidad de devanados (30).

4. El transformador (10) de cualquier reivindicación precedente, comprendiendo la capa aislante (54) materiales  
compuestos poliméricos.

15 5. El transformador (10) de cualquier reivindicación precedente, comprendiendo la capa aislante (54) al menos una  
nanocarga.

20 6. Un procedimiento (70) para formar un aislamiento en un transformador que comprende disponer una capa  
aislante (54) alrededor de al menos una porción de un devanado, **caracterizado porque** la capa aislante (54)  
incluye un material de carga que proporciona una respuesta no lineal a un campo eléctrico, por lo que la capa tiene  
una constante dieléctrica que varía en función del voltaje, y disponer comprende disponer la capa aislante alrededor  
de una esquina del devanado.

7. El procedimiento (70) de la reivindicación 6, en el que disponer comprende disponer la capa aislante entre una  
pluralidad de filamentos del devanado.



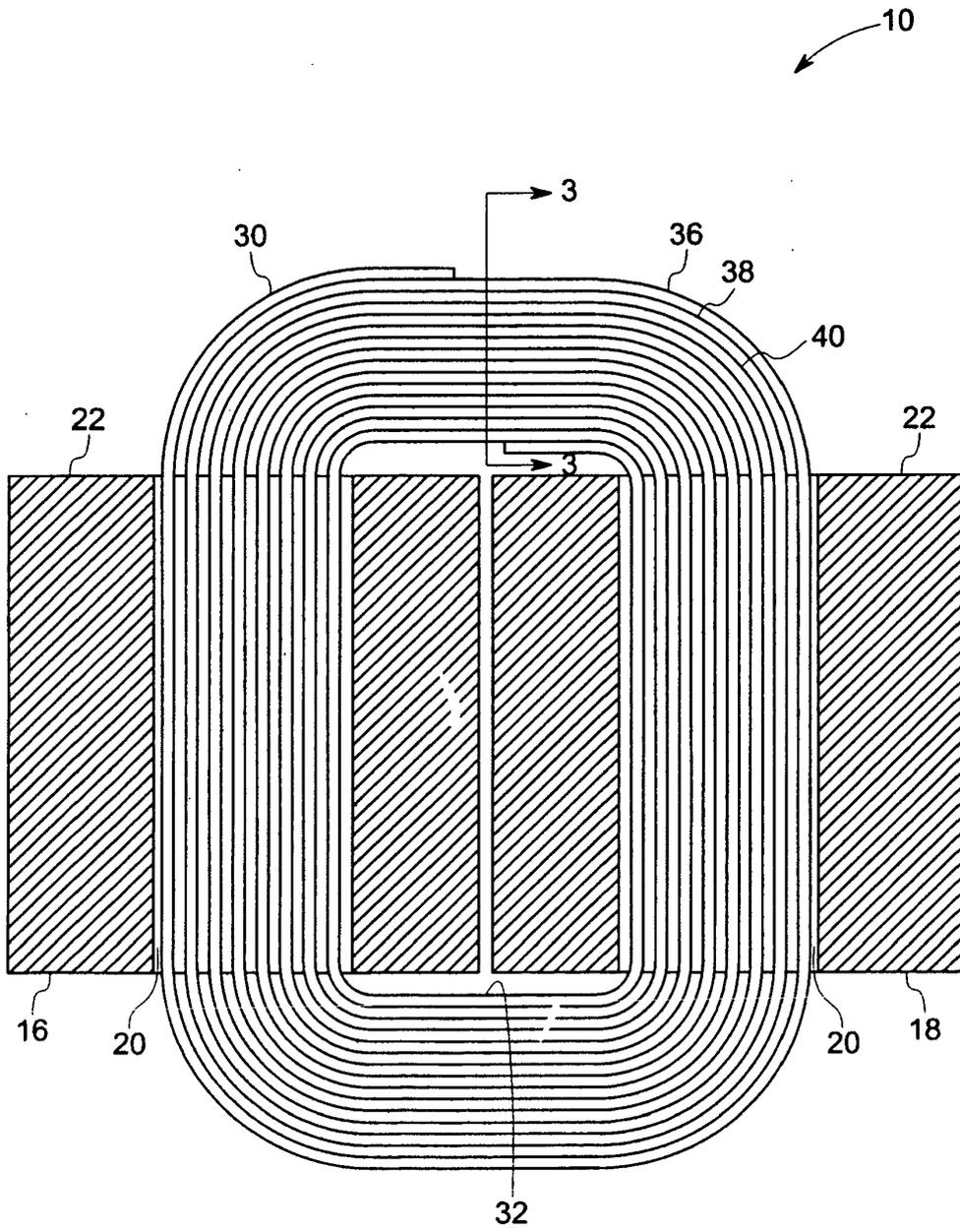


FIG. 2

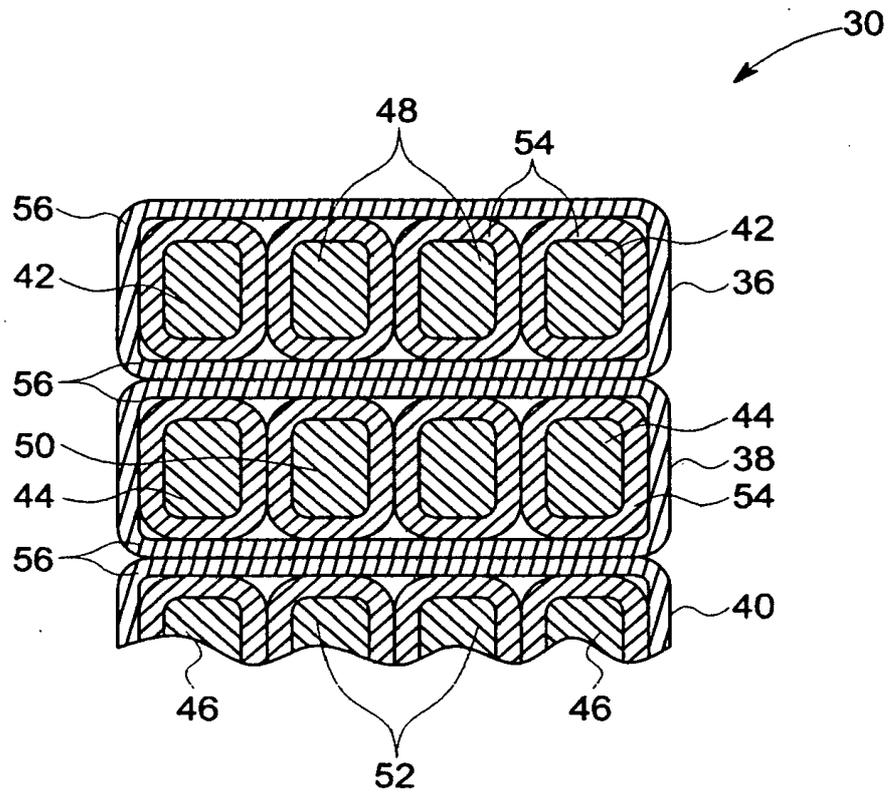


FIG. 3

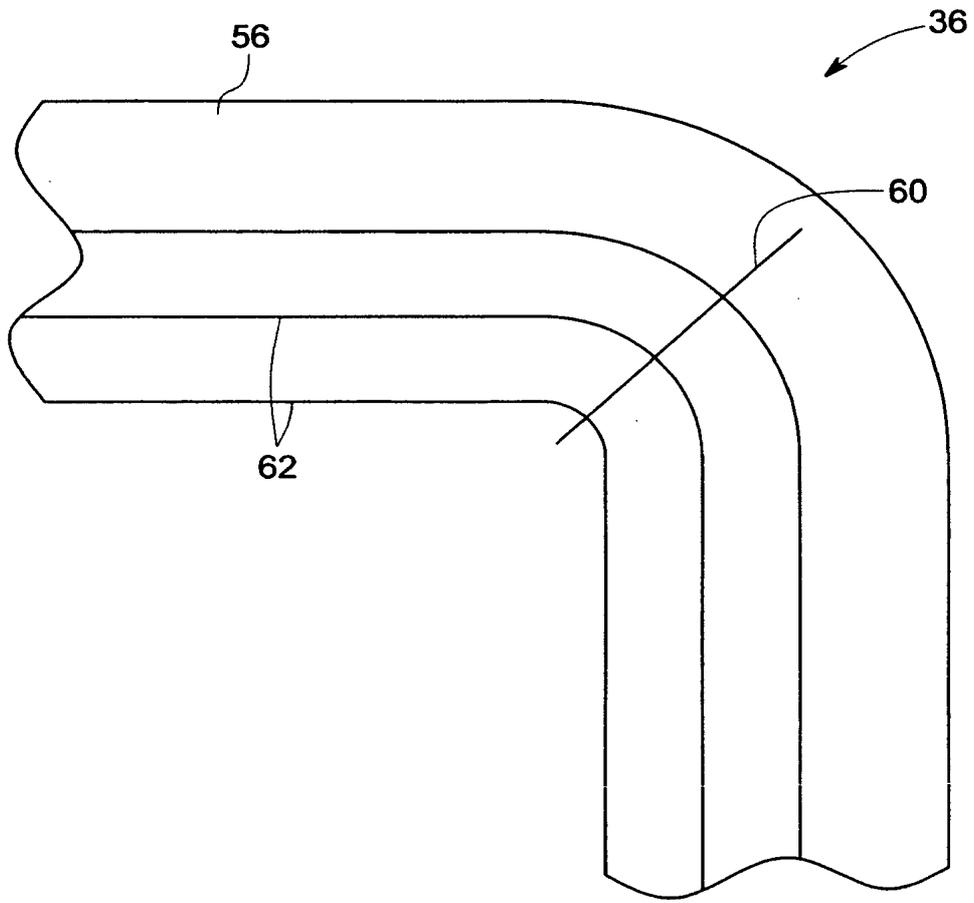


FIG. 4

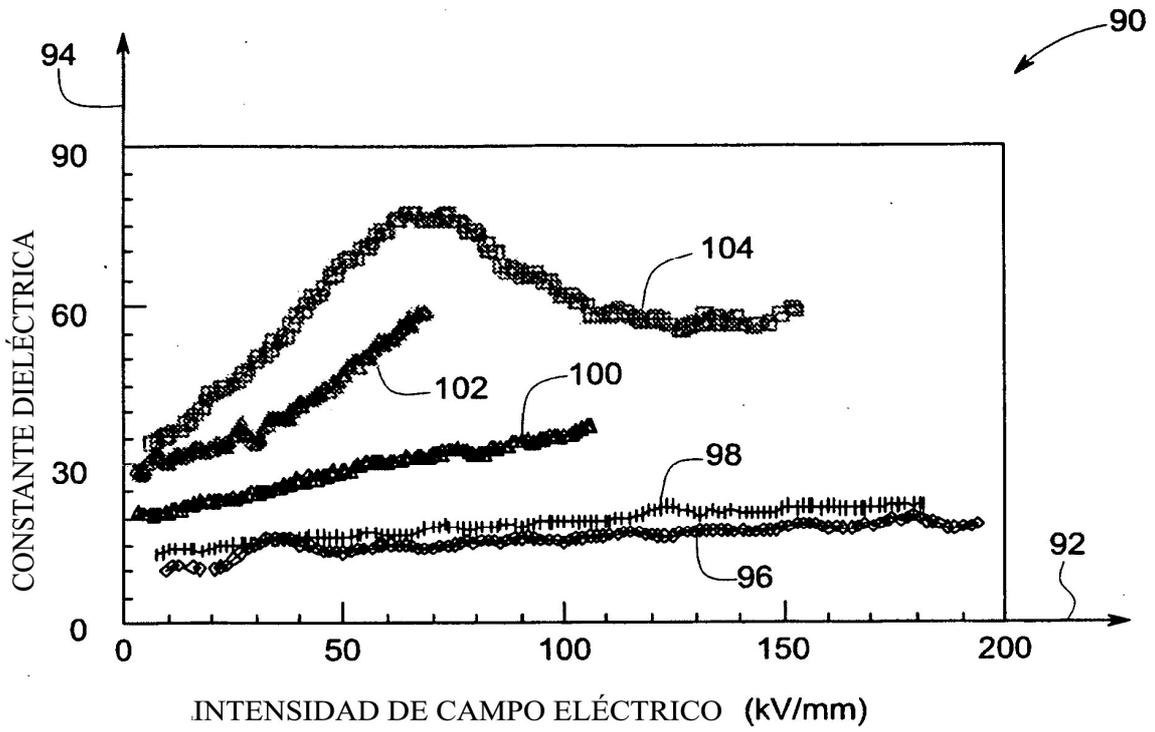


FIG. 5

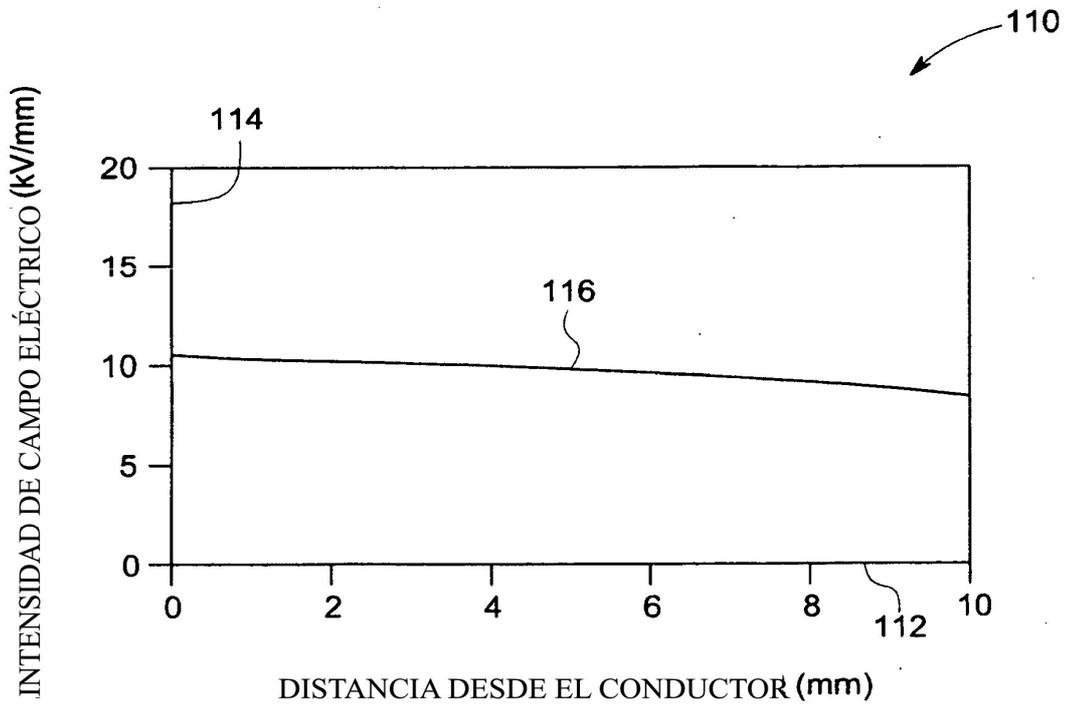


FIG. 6