

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 370 613**

51 Int. Cl.:
G01R 31/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08103524 .8**
96 Fecha de presentación: **14.04.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2110677**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **21.10.2009**

54 Título: **DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD AISLANTE DEGRADADA EN UN AISLAMIENTO PREVISTO ENTRE DOS OBJETOS DE UN ELEMENTO DE FUNCIONAMIENTO INDUCTIVO.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
20.12.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
20.12.2011

73 Titular/es:
**ABB RESEARCH LTD.
AFFOLTERNSTRASSE 52
8050 ZÜRICH, CH**

72 Inventor/es:
Gäfvert, Uno

74 Agente: **Peral Cerda, David**

ES 2 370 613 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

Determinación de la capacidad aislante degradada en un aislamiento previsto entre dos objetos de un elemento de funcionamiento inductivo

Campo de invención

- 5 La presente invención se refiere a un método, a un dispositivo y a un producto de programa informático para determinar el cambio en la capacidad aislante del aislamiento previsto entre dos objetos de un elemento de funcionamiento inductivo, siendo al menos uno de los objetos un devanado.

Antecedentes

- 10 El aislamiento entre objetos en elementos de funcionamiento inductivo, por ejemplo el aislamiento previsto entre dos devanados de un transformador, puede degradarse con el tiempo. Un motivo puede ser porque este aislamiento, que en muchas aplicaciones de alta tensión está compuesto por papel o cartón prensado, se contamina con un contaminante, por ejemplo en forma de sulfuro de cobre (Cu_2S). Para poder proporcionar contramedidas adecuadas, entonces resulta de interés determinar el grado de degradación de la capacidad aislante. Esto puede hacerse para conocer cuándo ha de sustituirse y/o someterse a mantenimiento el transformador. Un mejor conocimiento de la capacidad aislante puede ser
- 15 de gran importancia económica. Mediante tal conocimiento además es más fácil determinar cuándo ha de desconectarse un transformador, lo que también puede ser ventajoso desde un punto de vista de la seguridad.

Es ventajoso si esto puede realizarse sin tener que desmontar el transformador e inspeccionar directamente el material aislante. Esto es engorroso y además se tarda mucho tiempo. El transformador no puede usarse durante tal investigación. Existe además un riesgo de que el transformador se destruya por el desmontaje.

- 20 Un tipo de método de inspección de este tipo que se usa frecuentemente en la actualidad es el método de respuesta en frecuencia dieléctrica. Con respecto a este método, se ha llevado a cabo cierta investigación.

Una gran cantidad de bibliografía en esta área se refiere a una descripción general descripción del método, pero sin facilitar ninguna indicación real sobre cómo debe aplicarse en la práctica.

A continuación se facilitan algunos ejemplos:

- 25 El documento DE 102 26 615 A1 da a conocer un método para determinar el cambio en la capacidad aislante del aislamiento previsto entre dos objetos de un elemento de funcionamiento inductivo, en el que al menos uno de los objetos es un devanado, y que comprende las etapas de: aplicar una señal de frecuencia variable a un primer objeto del elemento de funcionamiento inductivo, pudiéndose obtener la respuesta en frecuencia a dicha señal a partir de un segundo objeto del elemento de funcionamiento inductivo.
- 30 "Frequency response of oil impregnated pressboard and paper samples for estimating moisture in transformer insulation", Chandima Ekanayake, Stanislaw M. Gubanski, Andrzej Graczkowski, Krzysztof Walczak, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 21, n.º 3, julio de 2006, describe los espectros en el dominio de la frecuencia de muestras de cartón prensado y papel impregnadas con aceite, que pueden usarse en el modelado de los resultados de mediciones de diagnóstico en transformadores de energía.
- 35 "Evaluation of Transformer Insulation by Frequency Domain Technique" P.K. Poovamma, A. Sudhindra, K.Mallikarjunappa, T.R. Afzal Ahamad, 2007 International Conference on Solid Dielectrics, Winchester, UK, 8-13 de julio de 2007, trata sobre las mediciones de respuesta dieléctrica que se usan para evaluar el sistema aislante de papel-aceite en transformadores.
- 40 "Dielectric Response Analysis of Real Insulation Systems", Uno Gafvert, 2004 International Conference on Solid Dielectrics, Toulouse, Francia, 5-9 de julio de 2004 trata sobre la aplicación de métodos de respuesta en frecuencia dieléctrica a varios sistemas de aislamiento reales de importancia práctica.

- 45 El documento US 7.292.048 describe un método y un dispositivo para medir una respuesta dieléctrica de un sistema aislante eléctrico, en el que se determina un primer resultado de medición mediante un método en el dominio de la frecuencia y se determina un segundo resultado de medición mediante un método en el dominio del tiempo. Se combinan el primer resultado de medición y el segundo resultado de medición para formar un resultado de medición global como la respuesta dieléctrica. Desafortunadamente, el documento no menciona nada respecto a cómo se usa realmente el método en el dominio de la frecuencia.

- 50 Sin embargo, existe un documento, que sí que describe una solución práctica al problema de determinar la capacidad aislante degradada de un aislamiento previsto entre dos devanados en un transformador. Este documento es el documento US 6.870.374.

El documento US 6.870.374 describe un método para identificar un tipo de anomalía en un sistema de aislamiento de un transformador de energía, en el que se miden las pérdidas dieléctricas en una sección del sistema de aislamiento, se calculan las pérdidas dieléctricas teóricas para la sección basándose en las propiedades del material, la geometría y la

temperatura de la sección, y se genera una representación gráfica de una diferencia en porcentaje entre las pérdidas dieléctricas medidas y calculadas. Se prepara una firma de respuesta dieléctrica a partir de la prueba DFR en un transformador. Se comparan la firma y la respuesta medida con una respuesta modelada de un transformador con una estructura aislante "normal" y una biblioteca de firmas de defectos conocidos. Basándose en la comparación, pueden diagnosticarse entonces defectos de factor de potencia en la estructura de aislamiento del transformador a prueba.

El método mencionado anteriormente también se describe en "Dielectric Frequency Response Measurement as a Tool for Troubleshooting Insulation Power Factor Problems", Mark Perkins, Asim Fazlagic, George Frimpong, Conference Record of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston, MA EE.UU.

En vista de lo que se ha descrito anteriormente existe, por tanto, una necesidad de proporcionar una manera diferente para determinar el cambio en la capacidad aislante, que considere también la causa de los cambios.

Sumario de la invención

La presente invención se refiere a proporcionar una solución al problema de determinar el cambio en la capacidad aislante del aislamiento previsto entre dos objetos de un elemento de funcionamiento inductivo, siendo al menos uno de los objetos un devanado.

Generalmente se resuelve este problema obteniendo un primer espectro de frecuencias asociado con una respuesta en frecuencia a una señal de frecuencia variable, siendo dicha señal de frecuencia variable una señal que puede aplicarse a un primer objeto del elemento de funcionamiento inductivo y la respuesta en frecuencia puede obtenerse a partir de un segundo objeto del elemento de funcionamiento inductivo, comparando el primer espectro de frecuencias obtenido con un segundo espectro de frecuencias de referencia, detectando un pico en el primer espectro de frecuencias obtenido que no aparece en el segundo espectro de frecuencias de referencia, analizando la forma del pico detectado y determinando el cambio en la capacidad aislante basándose en la forma analizada del pico detectado.

Un objeto de la presente invención es proporcionar un método para determinar el cambio en la capacidad aislante del aislamiento previsto entre dos objetos de un elemento de funcionamiento inductivo, siendo al menos uno de los objetos un devanado, pudiendo realizarse el método sin tener que desmontar el elemento de funcionamiento inductivo.

Este objeto se resuelve según un primer aspecto de la presente invención mediante un método según la reivindicación 1.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un dispositivo para determinar el cambio en la capacidad aislante del aislamiento previsto entre dos objetos de un elemento de funcionamiento inductivo, siendo al menos uno de los objetos un devanado, pudiendo realizarse esta determinación sin tener que desmontar el elemento de funcionamiento inductivo.

Este objeto se resuelve según un segundo aspecto de la presente invención mediante un dispositivo según la reivindicación 9.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un producto de programa informático para determinar el cambio en la capacidad aislante del aislamiento previsto entre dos objetos de un elemento de funcionamiento inductivo, siendo al menos uno de los objetos un devanado, que permita realizar esta determinación sin tener que desmontar el elemento de funcionamiento inductivo.

Este objeto se resuelve según un tercer aspecto de la presente invención mediante un producto de programa informático según la reivindicación 17.

Según una variación de la presente invención, se determina un volumen del aislamiento que tiene una capacidad aislante degradada basándose en la altura del pico sobre el espectro de frecuencias de referencia.

La presente invención tiene varias ventajas. Determina la degradación de la capacidad aislante del aislamiento sin desmontar ni influir negativamente de otra manera en el elemento de funcionamiento inductivo. Mediante una determinación de este tipo es entonces más fácil determinar que ha de realizarse una actividad de mantenimiento en el elemento, tal como cuándo ha de sustituirse, repararse y/o someterse a mantenimiento. Un mejor conocimiento de la capacidad aislante puede ser, por tanto, de gran importancia económica. Mediante tal conocimiento además es más fácil determinar cuándo ha de desconectarse un elemento de funcionamiento inductivo, lo que también puede ser ventajoso desde un punto de vista de la seguridad.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describirá a continuación haciéndose referencia a los dibujos adjuntos, en los que

la figura 1 muestra esquemáticamente el dispositivo según la presente invención conectado a un devanado primario de un transformador,

la figura 2 muestra esquemáticamente una vista en sección a través de una mitad de un transformador a modo de ejemplo,

la figura 3 muestra esquemáticamente una vista desde arriba de todo el transformador en la figura 2,

5 la figura 4 muestra esquemáticamente el aislamiento entre el devanado primario y secundario, en el que una sección compuesta por un volumen V tiene una capacidad aislante degradada,

la figura 5 muestra esquemáticamente un circuito eléctrico equivalente correspondiente al aislamiento con capacidad aislante degradada previsto entre los devanados primario y secundario de la figura 4,

10 la figura 6 muestra un primer espectro de frecuencias a modo de ejemplo de una respuesta en frecuencia a una señal de frecuencia variable que se ha enviado hacia el devanado primario del transformador junto con un segundo espectro de frecuencias de referencia correspondiente, y

la figura 7 muestra esquemáticamente varias etapas del método que se adoptan en un método según la presente invención.

Descripción detallada de la invención

15 A continuación se facilitará una descripción detallada de realizaciones preferidas de un dispositivo y un método según la presente invención.

En la figura 1 se muestra un dispositivo 10 para determinar el cambio en la capacidad aislante del aislamiento previsto entre dos objetos de un elemento 16 de funcionamiento inductivo. El dispositivo 10 de la presente invención incluye una unidad 12 de generación de señales y unidad 14 de análisis. La unidad 12 de generación de señales se dispone en este caso para conectarse a un primer objeto del transformador, que es en este caso un devanado 18 primario, y la unidad 14 de análisis se dispone para conectarse a un segundo objeto del transformador, que es en este caso un devanado 20 secundario.

20 En la figura 1 el dispositivo 10 se conecta a un elemento de funcionamiento inductivo que en este caso es en forma de un transformador 16. El transformador 16 en la figura 1 se muestra esquemáticamente como que incluye un primer objeto en forma de un devanado 18 primario y un segundo objeto en forma de un devanado 20 secundario. El transformador 16 tiene además varios terminales, un primer y un segundo terminal 22 y 24 de alimentación para la conexión al devanado 18 primario y un tercer y un cuarto terminal 26 y 28 de alimentación para la conexión al devanado 20 secundario. El transformador 16 mostrado en la figura 1 incluye además un quinto y un sexto terminal 30 y 32, disponiéndose el quinto terminal 30 a través de un borne de aislador de entrada que proporciona conectividad al devanado 18 primario y disponiéndose el sexto terminal 32 a través de un borne de aislador de entrada que proporciona conectividad al devanado 18 secundario.

25 En el ejemplo facilitado en este caso la unidad 12 de generación de señales se conecta al primer terminal 22 de alimentación y la unidad 14 de análisis se conecta al tercer terminal 26 de alimentación, mientras que los terminales 24 y 28 segundo y cuarto se conectan a tierra, aunque esto no es un requisito estricto. Debe comprenderse que esto no es más que una manera en la que puede conectarse el dispositivo 10 al transformador 16 y que existen otras diversas maneras, lo que se describirá en más detalle posteriormente.

30 La figura 2 muestra una vista en sección de una mitad de transformador y la figura 3 muestra una vista según se observa desde arriba de un transformador completo en el que pueden realizarse mediciones según la presente invención. Tal como puede observarse a partir de las figuras 2 y 3, el transformador a modo de ejemplo está dotado de un devanado 18 primario que comprende varias espiras de conductor devanado previstas circunferencialmente alrededor de un núcleo 34 de transformador. Separado radialmente de este devanado 18 primario está previsto un devanado 20 secundario constituido por varias espiras de conductor devanado previstas circunferencialmente alrededor del devanado 18 primario y el núcleo 34. Finalmente está previsto un aislamiento 36 entre los dos devanados 18 y 20. Debe comprenderse en este caso que la presente invención no se limita en modo alguno a este tipo de transformador de forma cilíndrica ni al uso de núcleos de transformador.

45 El transformador es ventajosamente un transformador de energía, es decir un transformador que puede funcionar a altas tensiones, normalmente en el intervalo de los kV. Con grandes transformadores de este tipo, el aislamiento 38 entre los devanados 18 y 20 está compuesto en muchos casos por papel o cartón prensado, que pueden empaparse con aceite. Este aislamiento puede considerarse desde el punto de vista eléctrico como una o más capacidades dispuestas en paralelo entre sí, entre los devanados primario y secundario.

50 Ahora bien, como un transformador de este tipo se usa durante mucho tiempo, se degradará. Un tipo de degradación que puede producirse normalmente es que el aislamiento entre los devanados reciba impurezas, tales como sulfuro de cobre (Cu_2S). Tales impurezas degradarán la capacidad aislante del aislamiento, es decir el aislamiento conducirá corriente en algún sentido. Esta degradación además puede ser local porque sólo un determinado volumen del aislamiento se vea influido negativamente. Se muestra una situación de este tipo en la figura 4.

La figura 4 muestra esquemáticamente el aislamiento 36 entre los devanados 18 y 20 primario y secundario. El aislamiento 36 está constituido en este caso por una sección 37 principal con capacidad aislante normal y una subsección 38 con capacidad aislante degradada. Esta subsección 38 ocupa en este caso un volumen V. La subsección 38, que se muestra como un recuadro en línea discontinua, tiene además una profundidad d, es decir una extensión en la dirección desde el devanado 18 primario hacia el devanado 20 secundario. Tal como se indicó anteriormente, es posible considerar el aislamiento como una o más capacidades conectadas entre los devanados 18 y 20 primario y secundario. Este modelo del aislamiento puede modificarse entonces basándose en una parte del aislamiento, es decir la subsección 38, teniendo el volumen V una capacidad aislante degradada.

La figura 5 muestra un modelo modificado de ese tipo para la subsección 38 de la figura 4, en el que varios elementos eléctricos están conectados entre los devanados 18 y 20 primario y secundario. Para mostrar su relación con las diversas secciones del material aislante, se muestran como que están previstos en la sección 37 principal del aislamiento en el que no hay degradación así como en la subsección 38, en la que hay degradación. Hay en este caso dos ramas a modo de ejemplo, una primera rama prevista sólo en la sección 37 principal, y por tanto que sólo incluye una capacidad C_{11} que está conectada entre los devanados 18 y 20 primario y secundario. También hay una segunda rama que también se extiende entre los devanados 18 y 20 primario y secundario. Sin embargo la segunda rama está prevista en la subsección 38 así como en la sección 37 principal. La parte de la segunda rama prevista en la subsección 38 tiene en este caso una capacidad C_v en paralelo a una resistencia R_v . Este circuito en paralelo está conectado a su vez en serie con una capacidad C_{12} prevista en la sección 37 principal. Por tanto, la rama está constituida en este caso por este circuito en paralelo, en serie con la capacidad C_{12} .

Debido a la resistencia R_v , hay una degradación en la capacidad aislante del aislamiento. La subsección 38 se muestra en este caso como estando prevista próxima al devanado 18 primario. Debe comprenderse, sin embargo, que puede situarse en cualquier lugar en el aislamiento 36 basándose en dónde puede producirse una degradación de la capacidad aislante. La subsección 38 puede extenderse además por toda la longitud desde el devanado primario hasta el secundario o extenderse también por toda la longitud en una dirección paralela a los devanados primario y secundario. En estos casos, el modelo de la figura 5 se modificaría naturalmente en consecuencia. En términos generales, sin embargo, la subsección 38 estará constituida por un circuito en paralelo compuesto por una resistencia y una capacidad y conectado en serie y/o en paralelo con una o más capacidades de la sección principal dependiendo de la extensión de este volumen entre los devanados o en paralelo a la longitud de los devanados.

Según la presente invención, es posible determinar el volumen V de la subsección 38 así como la profundidad d. También es posible determinar la cantidad de capacidad aislante degradada, que depende de la resistencia R_v .

Debido a una determinación de este tipo, entonces es más fácil determinar cuándo ha de realizarse mantenimiento, reparación o sustitución.

El funcionamiento de la presente invención se describirá a continuación en más detalle haciendo referencia también a las figuras 6 y 7, en las que la figura 6 muestra un primer espectro de frecuencias a modo de ejemplo de una respuesta en frecuencia a una señal de frecuencia variable que se ha enviado hacia el devanado primario del transformador junto con un segundo espectro de frecuencias de referencia a modo de ejemplo que corresponde al primer espectro de frecuencias, y la figura 7 muestra esquemáticamente varias etapas de método que se adoptan en un método según la presente invención.

El primer espectro 40 de frecuencias se muestra en la figura 6 con una línea continua, mientras que el segundo espectro 42 de frecuencias de referencia se muestra con una línea discontinua. Además se muestran como curvas 40 y 42 previstas en un diagrama que tiene un eje X y un eje Y, en el que el eje Y muestra el primer espectro de frecuencias y el espectro de referencia como Tan-Delta en dB y el eje X muestra la frecuencia en forma logarítmica, es decir como $\log f$. Tan-Delta es una manera bien conocida de representar el espectro de frecuencias de aislamientos, y no se describirá como tal en más detalle en el presente documento. La curva 40 del primer espectro de frecuencias a modo de ejemplo tiene además un pico 44, que no puede hallarse en el segundo espectro 42 de frecuencias de referencia. Este pico 44 tiene un valor de pico previsto a una frecuencia f_1 . A esta frecuencia f_1 el pico 44 también está dotado de una altura $\Delta(\text{Tan-Delta})$ sobre el segundo espectro 42 de frecuencias de referencia. El pico 44 tiene además una anchura w. El segundo espectro de frecuencias de referencia puede calcularse basándose en las propiedades del aislamiento, y puede considerar cosas tales como elementos del aislamiento tales como espaciadores y barreras, materiales usados tales como papel o cartón prensado y aceite, temperatura, etc. A este respecto, el segundo espectro de frecuencias de referencia puede determinarse según los principios mencionados, por ejemplo, en U. Gäfvert, L. Adeen, M. Tapper, P. Ghahsemi y B. Jönsson: "Dielectric Spectroscopy in Time and Frequency Domain Applied to Diagnostics of Power Transformers", 2000 IEEE 6th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM), Xian, China, 21-26 de junio de 2000. Como alternativa, puede obtenerse a través de una respuesta en frecuencia medida real que puede haberse obtenido cuando se ensambló en fábrica el transformador o se puso en funcionamiento por primera vez. Naturalmente, también es posible que el segundo espectro de frecuencias de referencia pueda obtenerse en algún otro momento mediante mediciones adecuadas.

El método empieza con la unidad 12 de generación de señales del dispositivo 10 aplicando una señal de frecuencia variable al devanado 18 primario del transformador 16, etapa 46, lo que puede realizarse mediante el envío de una señal de barrido de frecuencias hacia el primer terminal 22 de alimentación del devanado 18 primario del transformador 16.

Esta señal es preferiblemente una señal sinusoidal que tiene una amplitud y que se barre en un intervalo de baja frecuencia. Este intervalo de frecuencia puede ser normalmente un intervalo entre 1 mHz y 1 kHz. Como alternativa, es posible aplicar una señal compuesta por impulsos, en la que estos impulsos incluyen un contenido en frecuencia que es suficiente para obtener una respuesta en frecuencia en el intervalo de frecuencia deseado. La señal de barrido de frecuencias pasa a través del devanado 18 primario y provoca que se genere una señal de respuesta en el devanado 20 secundario. La señal de respuesta la recibe la unidad 14 de análisis a través del tercer terminal 26 del devanado 20 secundario, etapa 48, proporcionando de ese modo un primer espectro 40 de frecuencias. La unidad 14 de análisis puede almacenar en este caso el primer espectro 40 de frecuencias recibido en una memoria así como presentarlo, quizás junto con el segundo espectro 42 de frecuencias de referencia, para que un usuario pueda determinar si hay un cambio en la capacidad aislante del material aislante del aislamiento 36.

La unidad 14 de análisis compara además el primer espectro 40 de frecuencias recibido con el segundo espectro 42 de frecuencias de referencia, etapa 50, y detecta el pico 44, que no aparece en el segundo espectro de frecuencias de referencia, etapa 52. La unidad 14 de análisis analiza posteriormente la forma del pico 44, etapa 54, y luego determina el cambio en la capacidad aislante del aislamiento basándose en el pico 44 detectado, etapa 56.

La comparación puede realizarse en más detalle de la siguiente manera.

Puede expresarse la diferencia en altura como

$$\Delta(Tan - Delta) = \frac{1}{2 \cdot (1 - d)} \cdot V \quad (1)$$

donde $\Delta(Tan-Delta)$ es la altura del pico 44 sobre el segundo espectro 42 de frecuencias de referencia a la frecuencia f_1 , d es la profundidad normalizada y V es el volumen normalizado de la sección con capacidad aislante degradada. La profundidad normalizada es la distancia en la dirección desde el devanado primario hacia el devanado secundario abarcada por la subsección con capacidad aislante degradada, que se ha dividido por la longitud del aislamiento entre los devanados primero y segundo. El volumen normalizado es, de manera similar, el volumen de la subsección con capacidad aislante degradada dividido entre el volumen total del aislamiento.

Basándose en esta ecuación (1) es posible, por tanto, determinar el volumen V del aislamiento que tiene capacidad aislante degradada.

La frecuencia f_1 may también puede expresarse como

$$f_1 = \frac{\sigma}{2\pi \cdot \epsilon_0 \epsilon_r} \cdot (1 - d) \quad (2)$$

donde σ es la conductividad del volumen V , ϵ_0 es la constante de permitividad del vacío, ϵ_r la permitividad relativa del aislamiento, y d la profundidad normalizada.

Basándose en esta ecuación (2) es posible, por tanto, determinar la cantidad de capacidad aislante degradada en forma de la conductancia σ .

Así, a partir de la investigación del pico 44 es posible, por tanto, determinar la conductividad, a partir de la cual pueden obtenerse la degradación de la capacidad aislante del volumen, el tamaño del volumen así como la profundidad d . La cantidad de capacidad aislante degradada se determina por tanto basándose en la frecuencia del valor de pico del pico. El volumen se determina basándose en la altura del pico sobre el segundo espectro de frecuencias de referencia y la profundidad o extensión del volumen en la dirección desde el devanado primario hacia el devanado secundario se determina basándose también en la frecuencia.

La profundidad d puede determinarse en más detalle basándose en un uso de la ecuación (2) anterior. A través de la ubicación de la frecuencia f_1 , se determina el producto $(1-d) \cdot \sigma$. Entonces se separan entre sí las partes imaginaria y real del primer espectro de frecuencias y se compara la parte real del primer espectro de frecuencias con una parte real de un segundo espectro de frecuencias de referencia, mientras que se compara una parte imaginaria de la respuesta con una parte imaginaria del segundo espectro de frecuencias de referencia. En este caso, la parte imaginaria corresponde a la capacidad y la parte imaginaria a la pérdida del material dieléctrico. A partir de estas comparaciones puede obtenerse la profundidad. Una gran profundidad proporcionará normalmente un aumento en la parte real de la respuesta en comparación con la parte real del espectro de referencia, mientras que una profundidad pequeña, tal como una profundidad de 0,01, tendrá una diferencia despreciable. Por tanto puede usarse la diferencia entre las partes reales de la respuesta y el segundo espectro de frecuencias de referencia para determinar la profundidad. También puede usarse la parte imaginaria, en la que una mayor profundidad proporciona una mayor diferencia en el espectro de frecuencias y también proporciona estas diferencias a menores frecuencias que profundidades menores. También en este caso pue-

den observarse picos, en los que una mayor profundidad proporciona un pico más ancho a una menor frecuencia que una menor profundidad.

Una vez que se ha determinado la profundidad d , entonces es una cuestión sencilla volver a las ecuaciones (1) y (2) y determinar mejor el volumen V y la conductividad σ .

- 5 Es posible que haya varias impurezas o contaminantes en un volumen. Éstos pueden dar lugar entonces a varios picos que se superponen entre sí. En conjunto proporcionan un pico que es más ancho que el pico para un solo contaminante. Investigando la anchura w del pico de una respuesta recibida, es posible además, por tanto, distinguir las diversas impurezas y la degradación en la capacidad aislante de estas diversas impurezas.

- 10 La contribución de las diversas impurezas también puede considerarse que está provocada por una conductividad generalizada denominada "dispersión a baja frecuencia" (LFD). La expresión para esto se muestra en la ecuación (3) a continuación:

$$\Delta\epsilon_{LFD} = \frac{A_n}{\epsilon_0} \cdot (i \cdot \omega)^{-n} \quad (3)$$

A es en este caso una amplitud real que se ha normalizado con la permitividad del vacío, ϵ_0 , para que la amplitud, A_n , tenga el significado de una conductividad para $n=1$. Esto puede simplificarse en:

$$\Delta\epsilon_{DC} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot (i \cdot \omega)^{-1} \quad (4)$$

15

El exponente tiene una influencia sobre la anchura del pico. Un valor inferior a $n=1$ proporciona un pico más ancho. La posición del pico también se desplazará cuando cambie el exponente n . Si es deseable mantener la misma posición del pico, a $f_1 = \omega_1/2\pi$, por ejemplo para $n=1$, la amplitud tiene que ajustarse a escala según:

$$A_n \cdot \omega_0^{-n} = A_1 \cdot \omega_0^{-1} \quad (5)$$

- 20 Mediante la determinación del volumen, la profundidad y la cantidad de capacidad aislante degradada del volumen, es más fácil entonces seleccionar contramedidas apropiadas y sobre todo determinar mejor cuándo han de aplicarse tales contramedidas. Esto puede realizarse además sin desmontar ni influir negativamente de otra manera en el transformador. Mediante una determinación de este tipo es entonces más fácil determinar que ha de realizarse una actividad de mantenimiento en el transformador, tal como cuándo ha de sustituirse, repararse y/o someterse a mantenimiento. Un mejor conocimiento de la capacidad aislante puede ser, por tanto, de gran importancia económica. Mediante tal conocimiento además es más fácil determinar cuándo ha de desconectarse un elemento, lo que también puede ser ventajoso desde un punto de vista de la seguridad así como desde un punto de vista de suministro de energía. Naturalmente, puede combinarse la determinación mencionada anteriormente con otros tipos de determinaciones con el fin de determinar actividades de mantenimiento, tales como investigar la humedad y envejecimiento del aceite en aislamientos.
- 25
- 30 El dispositivo según la presente invención puede proporcionarse mediante un ordenador o analizador de redes (NA) programado adecuado. Las etapas de método que están previstas por la unidad de análisis de la presente invención pueden estar previstas de hecho en forma de un producto de programa informático que comprende código de programa informático previsto en un medio legible por ordenador, tal como en un CD ROM u otro tipo de medio de almacenamiento, y que está configurado para hacer que un ordenador o un analizador de redes, cuando se carga dicho código en dicho ordenador o analizador de redes, realice las etapas de método anteriormente descritas con relación a la unidad de análisis.
- 35

La presente invención puede variarse de varias maneras.

- Es posible proporcionar la presente invención como una mera herramienta de software, en la que el primer espectro de frecuencias no se recibe sino que se genera por la herramienta de software. Entonces es posible generar diversas respuestas para diversas diferencias en volumen, profundidad y permitividad basándose en el modelo eléctrico mencionado anteriormente. Se calculará entonces un primer espectro de frecuencias basándose en una respuesta no afectada calculada "normal" con una permitividad de fondo normal, en el que el volumen con capacidad aislante degradada está previsto como una inserción que se añade con una permitividad modificada. La modificación tiene en cuenta en este caso el modelo eléctrico del aislamiento. Esta inserción definirá entonces el pico que se analiza. En este caso, la respuesta sólo corresponde realmente a una respuesta en frecuencia "imaginaria" que se recibe basándose en una señal de
- 40
- 45

frecuencia variable "imaginaria" aplicada a un devanado del transformador. Entonces pueden compararse tales espectros de frecuencias simulados con los espectros de frecuencias de respuestas recibidas para determinar la capacidad aislante degradada.

- 5 Debe comprenderse también que la señal de frecuencia variable, cuando se envía hacia un devanado, puede enviarse al segundo terminal de alimentación en lugar de al primer terminal de alimentación y el resultado recibirse a partir del cuarto terminal de alimentación. Debe comprenderse también que el primer borne de aislador de entrada también puede usarse, al igual que el segundo borne de aislador de entrada, para enviar la señal de frecuencia variable y recibir el resultado de la medición. Naturalmente, también puede realizarse un tipo de análisis similar basándose en enviar la señal de frecuencia variable hacia el devanado secundario y medir la respuesta en el devanado primario. La presente invención puede usarse de hecho para analizar el aislamiento previsto entre cualquiera de los devanados de un transformador. Por tanto no se limita al aislamiento entre un devanado primario y uno secundario. La unidad de análisis puede emitir además una señal de advertencia si una o más de las diversas propiedades de un pico y/o las partes real-imaginaria de una respuesta difieren de los correspondientes valores preestablecidos. La invención puede usarse, por tanto, junto con umbrales de alarma.
- 10 El elemento de funcionamiento inductivo analizado que se puso como ejemplo anteriormente era un transformador. Debe comprenderse que un transformador analizado en este caso puede ser cualquier tipo de transformador, por ejemplo, un transformador de energía trifásico. Por tanto, puede realizarse un análisis de este tipo entre dos devanados cualesquiera de un transformador de este tipo. Sin embargo, la invención no se limita a su aplicación a transformadores. Puede aplicarse en cualquier elemento de funcionamiento inductivo, por ejemplo, en un inductor o un reactor. El análisis puede realizarse por tanto entre dos objetos de un elemento de funcionamiento inductivo que están separados por un aislamiento, siendo uno un devanado. El otro objeto puede ser por tanto otro devanado, aunque también puede ser, por ejemplo, una patilla de núcleo o un apantallamiento electrostático. A partir de lo comentado anteriormente, resulta evidente que la presente invención puede variarse de una multitud de maneras. Se comprenderá, en consecuencia, que la presente invención sólo va a estar limitada por las siguientes reivindicaciones.
- 15
- 20

25

REIVINDICACIONES

1. Método para determinar el cambio en la capacidad aislante del aislamiento (36) previsto entre dos objetos (18, 20) de un elemento (16) de funcionamiento inductivo, siendo al menos uno de los objetos un devanado, y que comprende las etapas de:
 - 5 - obtener (48) un primer espectro (40) de frecuencias asociado con una respuesta en frecuencia a una señal de frecuencia variable, siendo dicha señal de frecuencia variable una señal que puede aplicarse a un primer objeto del elemento de funcionamiento inductivo y la respuesta en frecuencia puede obtenerse a partir de un segundo objeto (20) del elemento de funcionamiento inductivo,
 - 10 - comparar (50) el primer espectro (40) de frecuencias obtenido con un segundo espectro (42) de frecuencias de referencia, detectar (52) un pico (44) en el primer espectro (40) de frecuencias obtenido que no aparece en el segundo espectro (42) de frecuencias de referencia,
 - analizar (54) la forma del pico detectado, y
 - 15 - determinar (56) el cambio en la capacidad aislante basándose en la forma analizada del pico detectado, en el que la etapa de determinar el cambio en la capacidad aislante incluye determinar la cantidad de capacidad aislante degradada basándose en la frecuencia (f_1) del valor de pico del pico (44).
2. Método según la reivindicación 1, en el que se determina un volumen (V) del aislamiento que presenta una capacidad aislante degradada basándose en la altura ($\Delta(\text{Tan-Delta})$) del pico (44) sobre el segundo espectro (42) de frecuencias de referencia.
- 20 3. Método según la reivindicación 2, en el que la extensión (d) del volumen (V) en una dirección desde el primer objeto hacia el segundo se determina basándose en comparar al menos la parte real del primer espectro de frecuencias con una parte real correspondiente del segundo espectro de frecuencias de referencia.
4. Método según la reivindicación 3, en el que un aumento de la diferencia entre las partes reales corresponde a un aumento de la profundidad.
- 25 5. Método según la reivindicación 3 ó 4, en el que la extensión (d) se determina también basándose en comparar la parte imaginaria del primer espectro de frecuencias con una parte imaginaria correspondiente del segundo espectro de frecuencias de referencia.
6. Método según cualquier reivindicación anterior, en el que se determinan diversas degradaciones de la capacidad conductora provocadas por diferentes contaminantes en el aislamiento basándose en la anchura (w) del pico.
- 30 7. Método según cualquier reivindicación anterior, que comprende además la etapa de enviar (54) la señal de frecuencia variable al primer objeto y recibir la respuesta en frecuencia a partir del segundo objeto, siendo el primer espectro de frecuencias el espectro de frecuencias de la respuesta en frecuencia recibida.
8. Método según cualquier reivindicación anterior, en el que el intervalo de frecuencia del primer espectro de frecuencias está entre 1 mHz y 1 kHz.
- 35 9. Dispositivo (10) para determinar el cambio en la capacidad aislante del aislamiento (36) previsto entre dos objetos (18, 20) de un elemento (16) de funcionamiento inductivo, siendo al menos uno de los objetos un devanado, y que comprende
 - una unidad (14) de análisis dispuesta para
 - 40 -obtener un primer espectro (40) de frecuencias asociado con una respuesta en frecuencia a una señal de frecuencia variable, siendo dicha señal de frecuencia variable una señal que puede aplicarse a un primer objeto del elemento de funcionamiento inductivo y la respuesta en frecuencia puede obtenerse a partir de un segundo objeto (20) del elemento de funcionamiento inductivo,
 - comparar el primer espectro (40) de frecuencias obtenido con un segundo espectro (42) de frecuencias de referencia,
 - detectar un pico (44) en el primer espectro (40) de frecuencias obtenido que no aparece en el segundo espectro (42) de
 - 45 frecuencias de referencia,
 - analizar la forma del pico detectado, y
 - determinar el cambio en la capacidad aislante basándose en la forma analizada del pico detectado,

- en el que la unidad (14) de análisis, cuando se dispone para determinar el cambio en la capacidad aislante, se dispone para determinar una cantidad de capacidad aislante degradada basándose en la frecuencia (f_1) del valor de pico del pico (44).
- 5 10. Dispositivo (10) según la reivindicación 9, en el que la unidad (14) de análisis, cuando se dispone para determinar el cambio en la capacidad aislante, se dispone para determinar un volumen (V) del aislamiento que presenta una capacidad aislante degradada basándose en la altura ($\Delta(\text{Tan-Delta})$) del pico (44) sobre el segundo espectro (42) de frecuencias de referencia.
- 10 11. Dispositivo (10) según la reivindicación 10, en el que la unidad (14) de análisis, cuando se dispone para determinar el cambio en la capacidad aislante, se dispone para determinar la extensión (d) del volumen (V) en una dirección desde el primer objeto hacia el segundo basándose en comparar al menos la parte real del primer espectro de frecuencias con una parte real correspondiente del segundo espectro de frecuencias de referencia.
12. Dispositivo (10) según la reivindicación 11, en el que un aumento de la diferencia entre las partes reales corresponde a un aumento de la profundidad.
- 15 13. Dispositivo (10) según la reivindicación 11 ó 12, en el que la unidad (14) de análisis se dispone para determinar la extensión (d) del volumen (V) basándose también en comparar la parte imaginaria del primer espectro de frecuencias con una parte imaginaria correspondiente del segundo espectro de frecuencias de referencia.
14. Dispositivo (10) según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en el que la unidad (14) de análisis, cuando se dispone para determinar el cambio en la capacidad aislante, se dispone para determinar diversas degradaciones de la capacidad conductora provocadas por diferentes contaminantes en el aislamiento basándose en la anchura (w) del pico.
- 20 15. Dispositivo (10) según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, que comprende además una unidad (12) de generación de señales dispuesta para enviar una señal de frecuencia variable al primer objeto (18) del elemento de funcionamiento inductivo y la unidad de análisis se dispone para recibir la respuesta en frecuencia a partir del segundo objeto, siendo el primer espectro de frecuencias el espectro de frecuencias de la respuesta en frecuencia recibida.
- 25 16. Dispositivo (10) según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15, en el que el intervalo de frecuencia del primer espectro de frecuencias está entre 1 mHz y 1 kHz.
17. Producto de programa informático para determinar el cambio en la capacidad aislante del aislamiento (36) previsto entre dos objetos (18, 20) de un elemento (16) de funcionamiento inductivo, siendo al menos uno de los objetos un devanado, y que comprende
- 30 código de programa informático previsto en un medio legible por ordenador y configurado para hacer que un ordenador, cuando dicho código se carga en dicho ordenador, realice lo siguiente
- obtener un primer espectro (40) de frecuencias asociado con una respuesta en frecuencia a una señal de frecuencia variable, siendo dicha señal de frecuencia variable una señal que puede aplicarse a un primer objeto del elemento de funcionamiento inductivo y la respuesta en frecuencia puede obtenerse a partir de un segundo objeto (20) del elemento de funcionamiento inductivo,
 - 35 - comparar el primer espectro (40) de frecuencias obtenido con un segundo espectro (42) de frecuencias de referencia,
 - detectar un pico (44) en el primer espectro (40) de frecuencias obtenido que no aparece en el segundo espectro (42) de frecuencias de referencia,
 - analizar la forma del pico detectado, y
 - determinar el cambio en la capacidad aislante basándose en la forma del pico detectado,
- 40 en el que la determinación del cambio en la capacidad aislante incluye determinar una cantidad de capacidad aislante degradada basándose en la frecuencia (f_1) del valor de pico del pico (44).

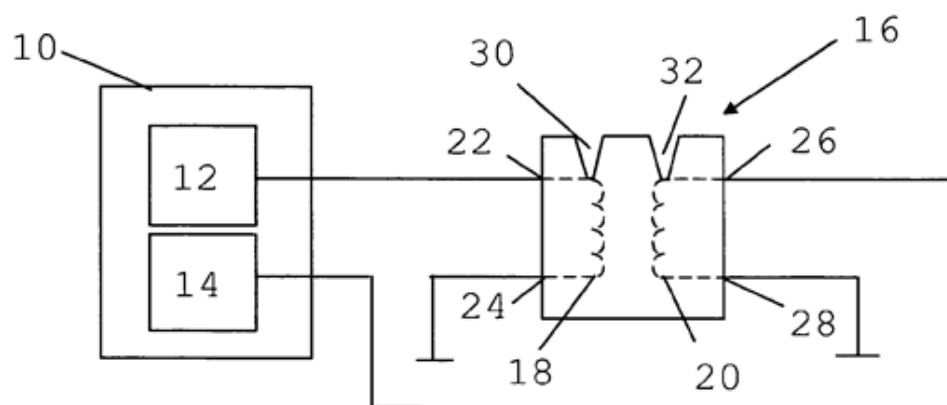


FIG. 1

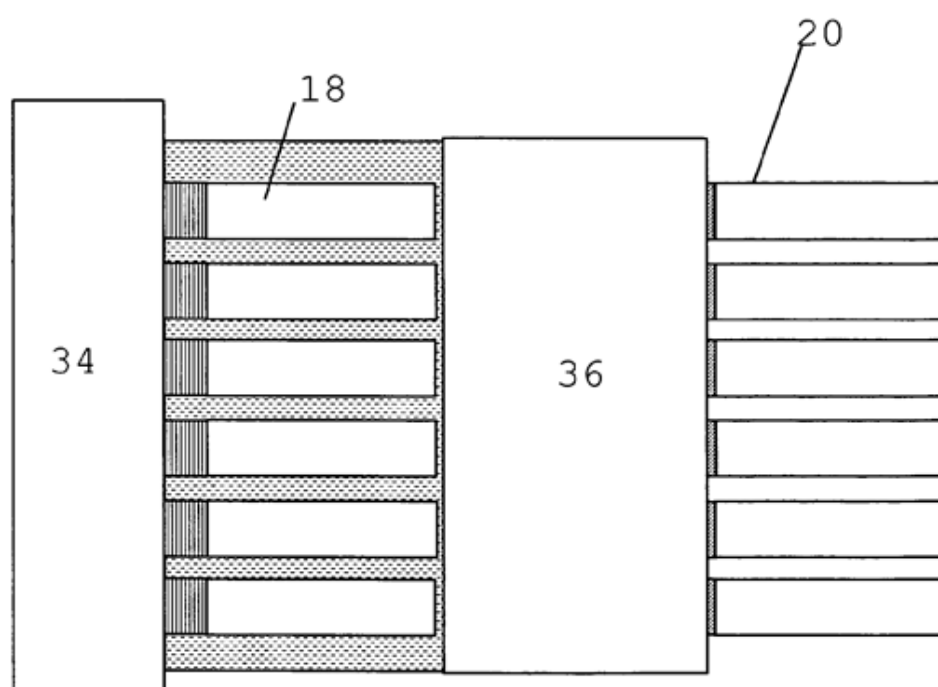


FIG. 2

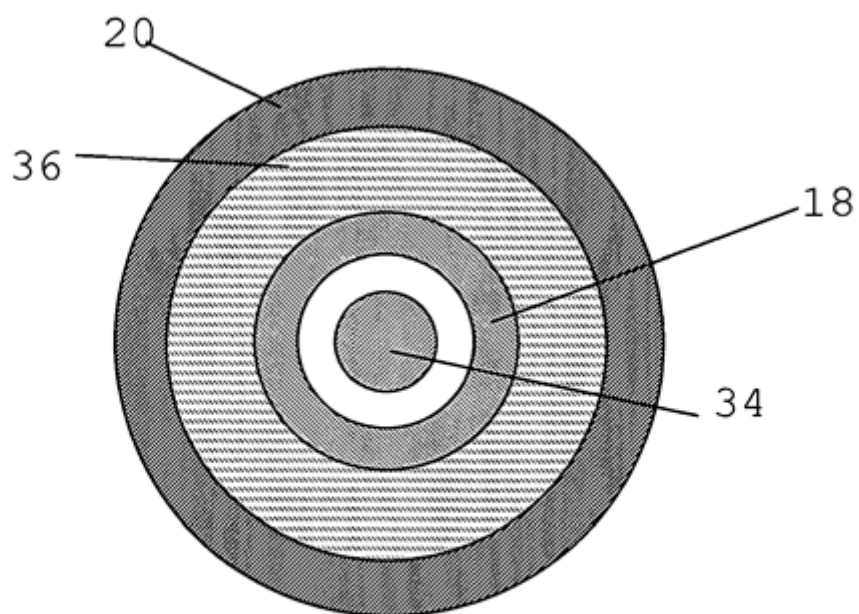


FIG. 3

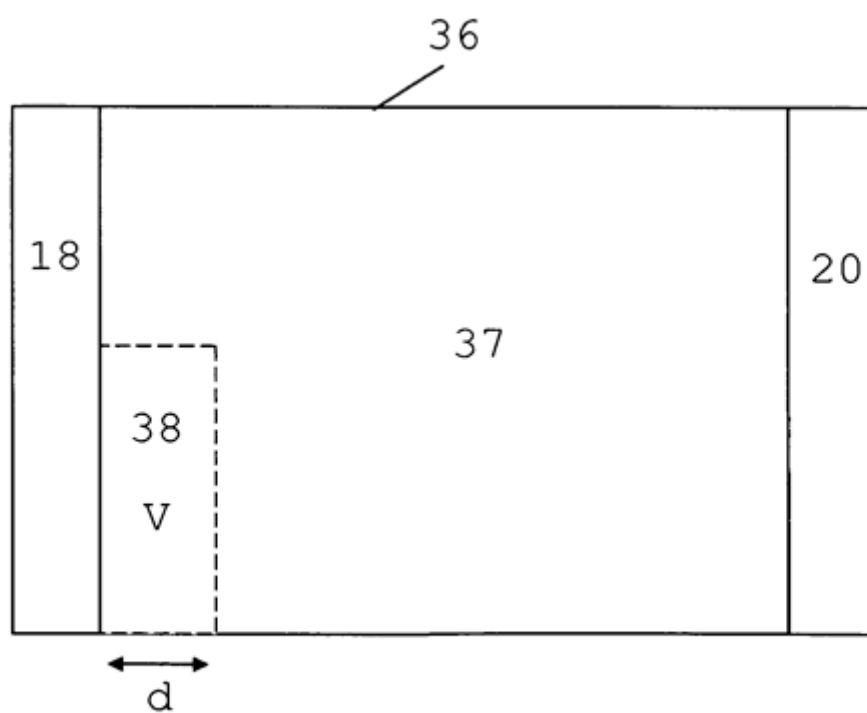


FIG. 4

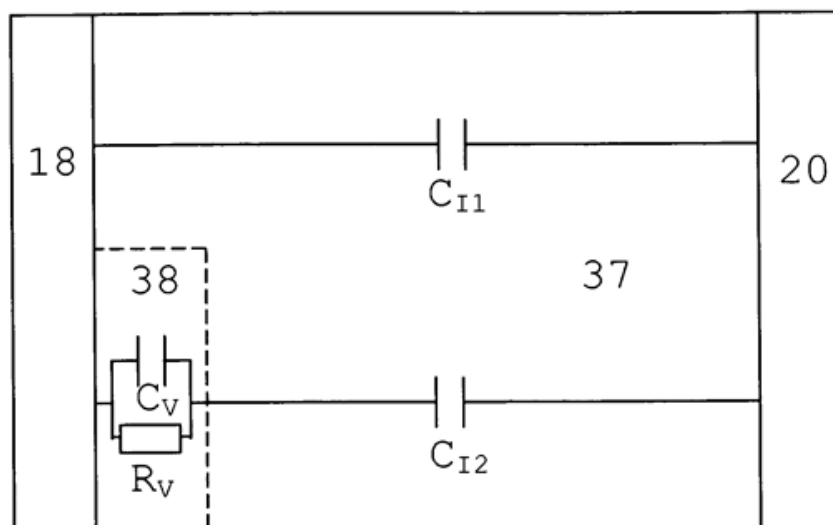


FIG. 5

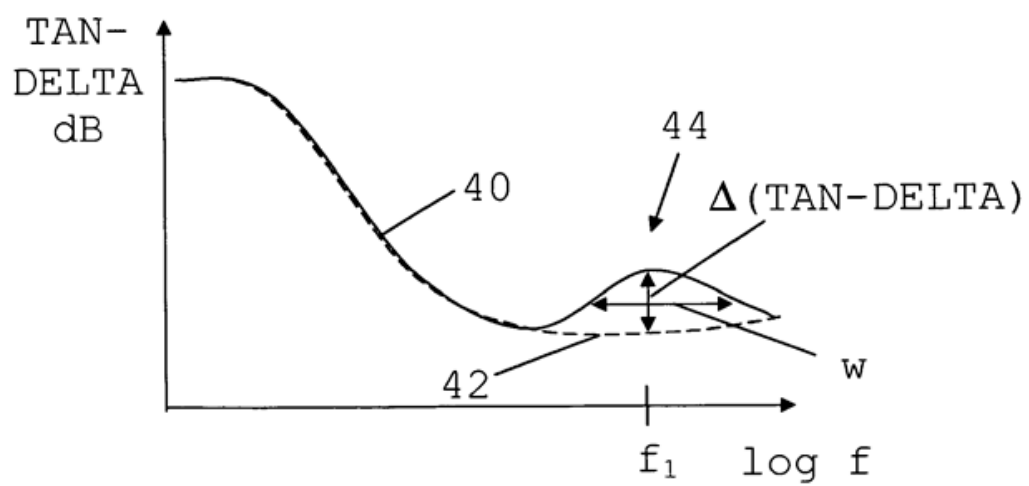


FIG. 6

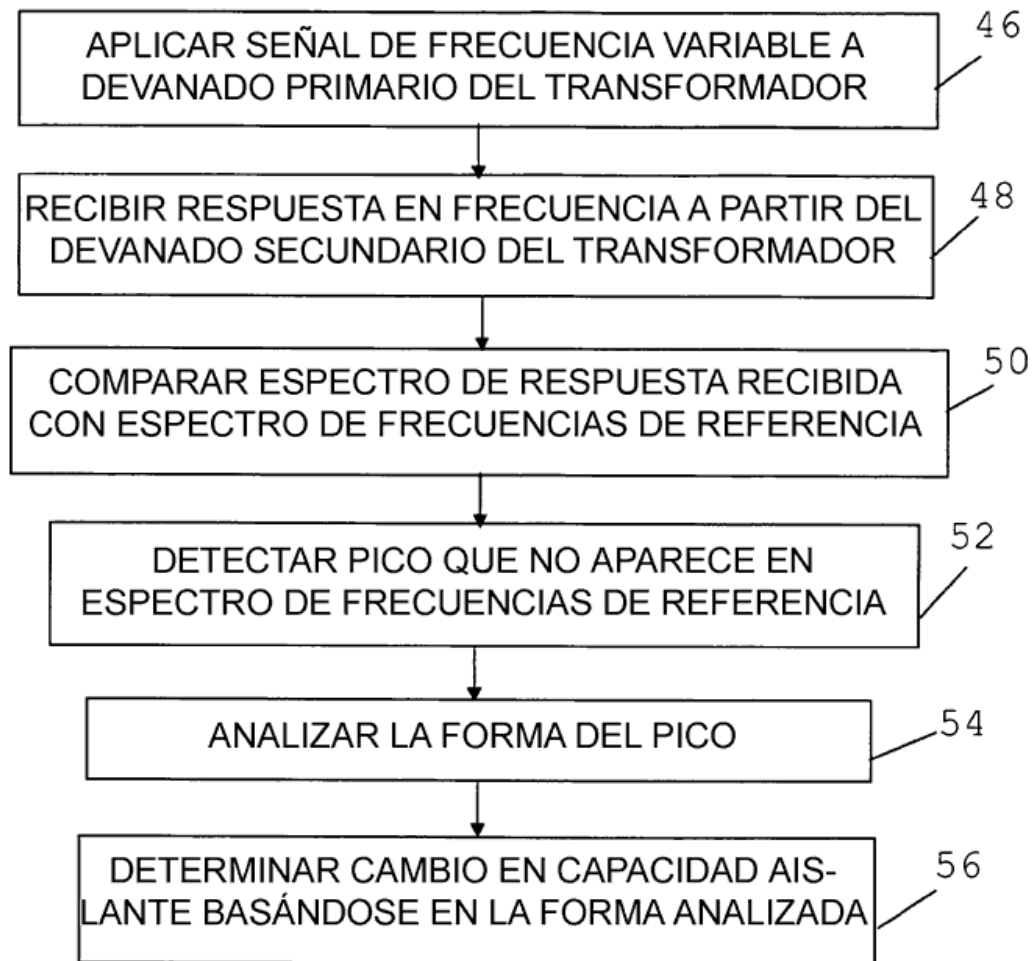


FIG. 7