

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 667 688**

51 Int. Cl.:

G01R 31/02 (2006.01)

H01F 27/30 (2006.01)

H01F 27/40 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.07.2015 E 15002217 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.01.2018 EP 3124985**

54 Título: **Procedimiento para clasificar el estado de la sujeción de devanado de un transformador de potencia**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.05.2018

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)
Brown Boveri Strasse 6
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**SCHEIL, KLAUS y
SCHREITER, SEBASTIAN**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 667 688 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

Procedimiento para clasificar el estado de la sujeción de devanado de un transformador de potencia

5 La invención se refiere a un procedimiento para clasificar el estado de la sujeción de devanado de un transformador de potencia que está sumergido en un tanque de transformador lleno de aceite, en el que el transformador de potencia comprende al menos una bobina de transformador con al menos un devanado eléctrico sujeto dispuesto sobre un núcleo de transformador, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes: aplicar un impulso de fuerza mecánica sobre una zona de impacto del tanque de transformador, de modo que el al menos un devanado se excita mecánicamente hasta la vibración y así se induce una tensión dentro del al menos un devanado, medir la tensión inducida del al menos un devanado durante un periodo de tiempo durante la vibración, transferir esos datos de medición del dominio de tiempo al dominio de frecuencia y proporcionar un conjunto de datos respectivo que comprende los datos de medición en el dominio de frecuencia y buscar máximos locales dentro de los datos de medición en el dominio de frecuencia del conjunto de datos.

15 Gaouda A. M. *et al.*, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 25, n.º 3, ISSN 0885-8977, muestra una herramienta basada en ondículas DSP para monitorizar corrientes de interrupción (TIC) y fallos internos (TIF) de transformador. Esto es para discriminar entre casos de TIC y TIF. Yuxing Wang, "Transformer vibration and its application to condition monitoring", da a conocer que se utiliza la vibración de transformador para detectar un posible daño en una estructura de transformador, para ello se comparan funciones de respuesta en frecuencia (FRF). El documento US 2011/0112777 A1 da a conocer un procedimiento para estimar la fuerza de sujeción sobre un conjunto de devanados de un transformador.

25 Se sabe que normalmente los devanados de los transformadores de potencia, por ejemplo con una potencia nominal de 300 MVA, una tensión nominal de 380 kV en el lado primario y una tensión nominal de 110 kV en el lado secundario, están fijados por una denominada sujeción de devanado para garantizar una distancia de aislamiento suficiente entre vueltas de devanado adyacentes. En caso de una sujeción de devanado insuficiente las partes activas del transformador no están preparadas para los esfuerzos mecánicos provocados por los esfuerzos eléctricos por las elevadas corrientes que se producen en las redes de distribución de energía eléctrica. En caso de cortocircuitos o incluso una importante variación de la corriente de carga pueden producirse fuerzas mecánicas importantes entre las vueltas de devanado adyacentes. Para evitar cualquier movimiento mecánico o la deformación del devanado o sus vueltas de devanado el devanado está sujeto con una fuerza de presión respectiva en sus extremos axiales. La fuerza de presión en la dirección radial la soportan en su mayor parte las vueltas de devanado propiamente dichas. Se prevén unos elementos de distancia, por ejemplo fabricados a partir de cartón prensado, entre capas de devanado adyacentes radiales y/o entre vueltas de devanado axialmente adyacentes para garantizar una distancia de aislamiento suficiente y para fijar la estructura de devanado frente a un movimiento mecánico.

35 Por las fuerzas que se producen entre las vueltas del devanado la sujeción de devanado de un transformador está sujeta a envejecimiento a lo largo de los años de funcionamiento, de modo que un día puede ocurrir que la funcionalidad no sea suficiente para garantizar un funcionamiento sin fallos de un transformador respectivo. En este caso normalmente la fuerza de presión aplicada al devanado es demasiado baja, de modo que las vueltas de devanado ya no están fijadas de una manera suficiente.

45 El envejecimiento de una sujeción de devanado de un transformador no está sujeto a un proceso de envejecimiento continuo predecible de manera apropiada. Además el envejecimiento está sujeto al impacto de esfuerzo mecánico individual en cada devanado de un transformador respectivo y así no puede calcularse de manera apropiada. Por tanto, en algunos casos es necesario un análisis individual del estado de la sujeción de devanado de un transformador para comprobar si todavía es o no suficiente. En caso de un estado no suficiente de la sujeción de devanado debe llevarse a cabo una actualización para garantizar un funcionamiento sin fallos del transformador en un futuro.

55 El análisis de una sujeción de devanado es una tarea bastante difícil puesto que normalmente los transformadores de potencia están dispuestos dentro de un tanque de transformador lleno de aceite y de este modo no son fácilmente accesibles. Por tanto, no puede llevarse a cabo una evaluación directa de la sujeción de devanado, por ejemplo basándose en un control visual o manual, sin retirar el transformador de potencia de su tanque de transformador lleno de aceite.

60 Se conocen procedimientos de evaluación en los que el devanado o la sujeción de devanado se excita mecánica o eléctricamente hasta la vibración, bien mediante impacto de un impulso de fuerza mecánica o aplicando un pulso de corriente sobre el devanado a evaluar. El devanado a evaluar está dispuesto en el núcleo de transformador del transformador de potencia. Por el magnetismo residual del núcleo de transformador se induce una tensión en el devanado cuando vibra. La vibración del devanado depende en gran medida del estado de la sujeción de devanado.

65 El documento de patente RU 2117955 da a conocer un procedimiento para el análisis de una tensión inducida respectiva, en el que se excita la bobina del transformador de potencia hasta la vibración mediante un impulso de fuerza mecánica en su tanque de aceite. Se mide la tensión inducida y se transfiere al dominio de frecuencia. Se

supone que la tensión inducida muestra un pico en el dominio de frecuencia a una frecuencia predeterminada que corresponde a la frecuencia de resonancia del devanado. Basándose en la amplitud de este pico se proporciona una fórmula para calcular la fuerza de presión restante de la sujeción de devanado como indicador para el estado de la sujeción de devanado.

5 En el estado de la técnica resulta desventajoso que normalmente los transformadores de potencia no tengan sólo una frecuencia de resonancia única: normalmente los transformadores de potencia tienen varios devanados, al menos un devanado primario y uno secundario, que están sujetos a diferentes fuerzas de presión y así a diferentes frecuencias de resonancia. Por tanto, el procedimiento según el estado de la técnica está sujetos a sufrir fallos en muchos casos.

El objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento mejorado para clasificar el estado de la sujeción de devanado de un transformador de potencia.

15 El problema se soluciona mediante un procedimiento para clasificar el estado de la sujeción de devanado de un transformador de potencia del tipo mencionado anteriormente. Se caracteriza por las etapas siguientes:

- clasificar el estado de la sujeción de devanado del al menos un devanado como defectuoso en caso de que no haya un máximo distinto dentro de los máximos locales,

- clasificar el estado de la sujeción de devanado del al menos un devanado como al menos posiblemente suficiente en caso de que haya exactamente un máximo distinto dentro de los máximos locales.

25 La idea según la invención no supone un pico en el dominio de frecuencia a una frecuencia predeterminada, además, la invención supone que la tensión inducida de un devanado con una sujeción de devanado suficiente muestra sólo un máximo distinto significativo en el dominio de frecuencia, mientras que la frecuencia del máximo distinto es de relevancia secundaria. Por otro lado, la invención supone que una tensión inducida sin un máximo distinto o con varios máximos locales, en los que ninguno es significativamente más distinto que los demás, es un indicador claro de que una sujeción de devanado no es suficiente.

30 Esta suposición se basa en que normalmente la sujeción de devanado de un devanado o sección de devanado no es defectuosa de una manera homogénea por toda su extensión, además se ha encontrado que en caso de una sujeción de devanado no suficiente hay zonas locales con un defecto que difieren de otras zonas sin defecto o con un grado diferente de defecto. Por tanto, hay diferentes zonas dentro de un devanado no suficiente con un estado de sujeción de devanado diferente respectivo que dan lugar a frecuencias de resonancia diferentes.

35 Según la invención se prevé poner los devanados del transformador de potencia en vibración mecánica aplicando un impulso de fuerza mecánica sobre una zona de impacto de la superficie externa del tanque de transformador, en el caso más sencillo mediante el uso de un martillo o similar. Por tanto, todos los devanados del transformador de potencia vibrarán de una manera comparable, por ejemplo durante un periodo de tiempo de varios segundos hasta que se amortigüe la vibración. Esto permite analizar de manera síncrona diversos devanados del transformador de potencia en paralelo, de modo que por ejemplo también pueden analizarse relaciones cruzadas entre los tres devanados primarios y secundarios de un transformador de potencia trifásico.

45 Normalmente la tensión inducida en el dominio de frecuencia muestra un espectro de frecuencia relevante de 2 kHz y superior con uno o varios máximos locales. Cada máximo no se desarrolla de una manera marcada exactamente a una frecuencia, además un máximo puede considerarse como el pico de distribución de tipo Gauss alrededor de una frecuencia respectiva, pudiendo ascender la anchura del pico a la mitad de la altura del pico por ejemplo a 30 Hz. Un máximo local que de manera clara supere los demás máximos locales, en caso de existir, se considera un máximo distinto.

50 Normalmente las tensiones inducidas están en el intervalo de muy pocos voltios y por debajo. La medición de estas tensiones puede realizarse mediante el uso de un circuito de medición automático con una determinada frecuencia de muestreo, por ejemplo dentro del intervalo de 5 kHz y por encima. Debe garantizarse que el espectro de frecuencia de relevancia, que podría tener una frecuencia máxima de por ejemplo 2 kHz, se muestrea de una manera adecuada, por ejemplo al menos con una frecuencia de muestreo dos veces la frecuencia máxima de relevancia. La transferencia del dominio de tiempo al dominio de frecuencia puede realizarse por ejemplo mediante el uso del procedimiento de PSD (*Power Spectral Density*, densidad espectral de potencia), FFT (*Fast Fourier Transformation*, transformación rápida de Fourier) o DFT (*Discrete Fourier Transformation*, transformación discreta de Fourier).

60 Por tanto, según la invención, el estado de la sujeción de devanado del al menos un devanado se clasifica como defectuoso en caso de que no haya un máximo distinto dentro de los máximos locales. En este caso puede suponerse que hay dos o más frecuencias de resonancia relevantes que indican que hay al menos dos zonas dentro del devanado con un estado diferente de sujeción de devanado.

Por consiguiente, el estado de la sujeción de devanado del al menos un devanado se clasifica como al menos posiblemente suficiente en caso de que haya exactamente un máximo distinto dentro de los máximos locales. La existencia de exactamente un máximo distinto en un dominio de frecuencia es un criterio requerido pero no necesariamente un criterio suficiente para que también el estado de la sujeción de devanado sea suficiente.

5 Según otra forma de realización de la invención el dominio de frecuencia cubre una frecuencia máxima de al menos 1,5 kHz, preferiblemente al menos 2 kHz. Se ha encontrado que con creces los máximos locales más relevantes de las tensiones medidas en el dominio de frecuencia se ubican dentro de este intervalo de frecuencia. Preferiblemente la frecuencia de muestreo para medir el curso de la señal de la tensión inducida debería ser de al menos 10 kHz para garantizar una calidad de datos suficientemente elevada dentro del dominio de frecuencia.

10 Según una forma de realización adicional de la invención el transformador de potencia comprende varios devanados, en el que se proporciona un conjunto de datos respectivo de manera síncrona para al menos dos de estos devanados y en el que se clasifica el estado de la sujeción de devanado de estos al menos dos devanados. Esto significa que durante un periodo de vibración se analiza la tensión inducida dentro de dos o más devanados de manera síncrona. Por tanto, así se facilitan los análisis de relación cruzada entre los espectros de frecuencia de las diferentes tensiones medidas puesto que existe una independencia de la intensidad del impulso de fuerza mecánica aplicado. Por tanto, la intensidad del impulso de fuerza mecánica no tiene que ser necesariamente la misma en caso de que se repita una medición.

15 Según otra forma de realización de la invención, el transformador de potencia es un transformador de 3 fases. Ésta es una forma de realización común de un transformador de potencia puesto que las redes de suministro de energía eléctrica son normalmente de 3 fases. Por tanto, para un transformador trifásico puede realizarse fácilmente una medición síncrona de, por ejemplo, las tensiones inducidas de los devanados de las tres fases y una previsión síncrona de conjuntos de datos respectivos.

20 Según una forma de realización adicional de la invención y en caso de al menos dos conjuntos de datos disponibles con un máximo distinto respectivo se realiza una referencia cruzada entre las frecuencias de los máximos distintos cuando se clasifica el estado de una sujeción de devanado respectiva. En el caso de un transformador trifásico podría tratarse por ejemplo de conjuntos de datos generados de manera síncrona para la tensión inducida del devanado primario y/o secundario en el dominio de frecuencia. Si, por ejemplo, todos los conjuntos de datos de una o varias mediciones comprenden un máximo distinto a una frecuencia similar, puede suponerse que la sujeción de devanado del transformador se encuentra en una condición suficiente. También es posible identificar y eliminar una medición errónea mediante una referencia cruzada de este tipo o repitiendo la medición.

25 Según otra forma de realización de la invención la respectiva sujeción de devanado se clasifica como suficiente en caso de que las frecuencias de los máximos distintos respectivos no difieran en más de 30 Hz en cada caso entre sí. Se ha encontrado que podría haber ligeras desviaciones de las frecuencias de máximos distintos en caso de que se repitan las mediciones o en caso de que se realicen varias mediciones de manera síncrona para diferentes devanados del mismo transformador. Según la invención, puede suponerse por ejemplo, que en caso de repetir una medición varias veces y tener máximos de frecuencia distintos respectivos dentro de un ancho de banda no superior a 30 Hz la respectiva sujeción de devanado se encuentra en una condición suficiente.

30 Según otro aspecto de la invención y en caso de un transformador de 3 fases se mide una tensión inducida dentro de un devanado respectivo entre un conductor de fase respectivo y un punto neutro real o virtual. Por tanto, es posible realizar la medición por fases sin tener una influencia negativa de tensiones de fase relacionadas.

35 Según otra forma de realización de la invención el transformador de potencia comprende un cambiador de toma y el procedimiento se repite secuencialmente con diferentes configuraciones del cambiador de toma. Dependiendo de la configuración respectiva del cambiador de toma segmentos de devanado adicionales están conectados eléctricamente en serie con un devanado principal respectivo del transformador. Cada segmento de devanado como tal podría estar sujeto a un fallo individual. Repitiendo las mediciones respectivas varias veces con varias configuraciones del cambiador de toma es posible identificar un defecto respectivo de un devanado y asignarlo a un determinado segmento de devanado que se conmuta por el cambiador de toma.

40 Según otra forma de realización de la invención las etapas del procedimiento se repiten al menos dos veces, en el que la zona de impacto del impulso de fuerza mecánica respectivo está sujeta o no a una variación. Aumentando el número de mediciones realizadas es más sencillo detectar y eliminar mediciones erróneas. Así se mejora la fiabilidad de un estado que clasifica una sujeción de devanado.

45 Según otra forma de realización de la invención al menos una zona de impacto se ubica en una pared lateral del tanque de transformador por al menos un devanado sujeto a analizar. El impulso de fuerza mecánica se propaga de una manera preferida hacia el devanado sujeto en este caso.

50 Según una forma de realización adicional de la invención la energía del impulso de fuerza mecánica asciende a un intervalo inferior a 500 J. Se ha encontrado que por un lado las vibraciones de los devanados son lo suficientemente

elevadas para generar una tensión inducida respectiva y por el otro lado, así se evita un daño en la superficie del tanque de transformador de manera ventajosa.

5 Según otra forma de realización de la invención el impulso de fuerza mecánica se aplica de una manera reproducible con medios de impulso normalizados respectivos. Estos medios podrían ser por ejemplo un peso móvil, que se acelera mediante un resorte por una distancia dada. Por tanto, el impulso de fuerza mecánica generado de este modo en caso de que el peso golpee sobre la superficie del tanque de transformador siempre es el mismo.

10 Según otra forma de realización de la invención un máximo local en el dominio de frecuencia se clasifica como un máximo distinto en caso de que sea al menos dos veces los demás máximos respectivos dentro del dominio de frecuencia del mismo conjunto de datos.

15 Según una forma de realización adicional de la invención dos máximos locales adyacentes se clasifican como un máximo local en caso de que su frecuencia difiera en no más de 30 Hz. Por ejemplo si hay un pico de un máximo a 150 Hz y otro pico a 180 Hz puede suponerse que hay un pico común a 165 Hz. Por tanto, se evita que pequeñas desviaciones dentro de las frecuencias lleven a una clasificación incorrecta del estado de la sujeción de devanado. Este procedimiento puede repetirse de modo que si hay dos picos máximos ya fusionados que difieren en no más de 30 Hz cada uno entre sí estos picos máximos pueden volver a fusionarse. Dependiendo del tamaño del transformador y otras condiciones previas el límite también podría ascender a 50 Hz en lugar de 30 Hz.

20 En las reivindicaciones dependientes se mencionan formas de realización ventajosas adicionales de la invención.

A continuación se explicará la invención en más detalle por medio de una forma de realización a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

25 la figura 1, muestra un transformador de potencia a modo de ejemplo en un tanque,

la figura 2, muestra un procesamiento a modo de ejemplo de datos de medición,

30 la figura 3, muestra máximos distintos a modo de ejemplo de datos de medición en el dominio de frecuencia,

la figura 4, muestra máximos locales a modo de ejemplo de datos de medición en el dominio de frecuencia y

35 la figura 5, muestra la disposición de una sujeción de devanado a modo de ejemplo.

La figura 1 muestra un transformador de potencia a modo de ejemplo en un tanque 12 lleno de aceite 14. El transformador de potencia comprende un núcleo de transformador 22 con tres bobinas 16, 18, 20 dispuestas alrededor de respectivas columnas del núcleo de transformador 22. En un lado del tanque de transformador 12 se indica un medio de impulso 26, en este caso un martillo, para aplicar un impacto de fuerza mecánica 24 o un impulso sobre una zona de impacto 28 del tanque de transformador 12. En este caso la energía del impacto de fuerza mecánica 24 asciende a 300 J. Aunque evidentemente son posibles otras cantidades de energía. Por tanto, el impulso aplicado se propaga a través de las conexiones mecánicas tales como la pared del tanque de aceite y los soportes de la bobina 14 a las bobinas 16, 18, 20 y las excita hasta la vibración, por ejemplo durante varios segundos. Con los números de referencia 30, 32, 34 se indican variaciones posibles adicionales de una zona de impacto, que se ubican en una pared lateral del tanque de transformador 12 a través de las bobinas 16, 18, 20 con sus devanados sujetos respectivos a analizar.

50 Los devanados de las bobinas 16, 18, 20 comprenden conexiones de devanado eléctricas 36, de las que se indican dos para un devanado respectivo por cada bobina, comprendiendo una bobina normalmente al menos un devanado primario y uno secundario. Las primeras conexiones respectivas de un devanado respectivo están conectadas a un punto neutro común 38, estando conectadas eléctricamente las conexiones respectivas de manera triangular. Se miden las tensiones inducidas respectivas 40, 42, 44 entre las conexiones primeras y segundas de cada bobina 16, 18, 20 o entre el punto neutro 38 y las segundas conexiones respectivas.

55 Las tensiones inducidas 40, 42, 44 se miden con medios de medición respectivos y se transfieren mediante una unidad de cálculo no mostrada del dominio de tiempo al dominio de frecuencia y se almacenan en conjuntos de datos respectivos.

60 La figura 2 muestra un procesamiento a modo de ejemplo de datos de medición en un esbozo 50. Se mide una tensión inducida 52 en el dominio de tiempo de modo que están disponibles datos de medición 54 dependiendo del tiempo t. Estos datos de medición 54 se transfieren 56 del dominio de tiempo al dominio de frecuencia. Esto podría realizarse por ejemplo mediante el uso del procedimiento de una transformación rápida de Fourier (FFT). Como resultado se obtienen datos de medición respectivos 58 en el dominio de frecuencia f. Se indican máximos respectivos con una línea vertical a las frecuencias respectivas, con lo que puede considerarse el máximo en el centro como máximo distinto comparado con los demás máximos.

65

La figura 3 muestra máximos distintos a modo de ejemplo de datos de medición en el dominio de frecuencia en un esbozo 60. La figura muestra tres datos de medición diferentes 62, 64, 66 dentro del dominio de frecuencia, considerándose una frecuencia máxima de 2,2 kHz. En la figura se muestra la tensión 70 dependiente de la frecuencia 68. Los datos de medición representan las tensiones inducidas medidas de manera síncrona de los tres devanados primarios de un transformador de potencia trifásico después de aplicar un impulso de fuerza mecánica en el exterior de su tanque de transformador. Puede observarse claramente que los tres datos de medición comprenden un máximo local significativo respectivo de aproximadamente 380 Hz, que difiere claramente de todos los demás máximos locales respectivos puesto que su altura respectiva es al menos dos veces la altura de los demás máximos respectivos. Por tanto, cada dato de medición tiene un máximo distinto a la frecuencia 72 de aproximadamente 380 Hz. El máximo más distinto 74 de todos los datos de medición puede encontrarse dentro de los segundos datos de medición 64. El máximo menos distinto puede encontrarse dentro de los primeros datos de medición 62, que aun así todavía difiere de los demás máximos de modo que puede considerarse un máximo distinto. Por tanto, puede considerarse suficiente la sujeción de devanado del transformador de potencia respectivo.

La figura 4 muestra máximos a modo de ejemplo de datos de medición en el dominio de frecuencia en un esbozo 80. La figura muestra tres datos de medición diferentes 82, 84, 86 dentro del dominio de frecuencia, considerándose una frecuencia máxima de 2,5 kHz. Todos los datos de medición se han registrado de manera síncrona y se refieren a una bobina respectiva de un transformador trifásico. En la figura se muestra la tensión 96 dependiente de la frecuencia 94. Puede observarse claramente que los datos de medición primeros 82 y segundos 84 tienen un máximo distinto respectivo a una frecuencia respectiva 88, 90, que es la misma para ambos datos de medición a aproximadamente 1,1 kHz. Los terceros datos de medición 86 tienen varios máximos locales, estando el más alto a una frecuencia 92 de aproximadamente 2,2 kHz. Esto difiere de los demás máximos locales de la tercera tensión 86 no de manera tan clara que pueda considerarse un máximo distinto. Así puede suponerse que la bobina relacionada con los terceros datos de medición tiene una sujeción de devanado que no se encuentra en una condición suficiente mientras que la sujeción de devanado de las otras dos bobinas se encuentra en una condición suficiente.

La figura 5 muestra una disposición de una sujeción de devanado a modo de ejemplo en un esbozo 100. Un devanado de una bobina de un transformador de potencia se representa mediante varias capas de hilos de devanado axialmente adyacentes 106, que se enrollan alrededor de un eje de rotación 112. En caso de un flujo de corriente elevado a través de los hilos de devanado 106, por ejemplo durante un cortocircuito, se aplica una fuerza mecánica elevada entre los hilos de devanado 106. Para evitar cualquier movimiento mecánico entre los hilos de devanado 106 se prevé una sujeción de devanado, que comprende varios medios de aislamiento eléctricos 108, por ejemplo hechos de cartón prensado, y placas de sujeción para aplicar una fuerza de presión axial 102, 104 para fijar los hilos de devanado 106. Por tanto, se impide un movimiento mecánico de estos hilos de devanado en caso de que la sujeción de devanado se encuentre en una condición suficiente.

La figura 6 muestra el curso de tres tensiones inducidas de manera síncrona a lo largo del tiempo en un esbozo 120, ascendiendo el periodo de tiempo monitorizado a 60 ms.

Lista de símbolos de referencia

- 10 transformador de potencia a modo de ejemplo en un tanque
- 12 tanque de transformador
- 14 aceite
- 16 primera bobina
- 18 segunda bobina
- 20 tercera bobina
- 22 núcleo de transformador
- 24 impacto de fuerza mecánica
- 26 medio de impulso
- 28 primera zona de impacto
- 30 segunda zona de impacto
- 32 tercera zona de impacto
- 34 cuarta zona de impacto

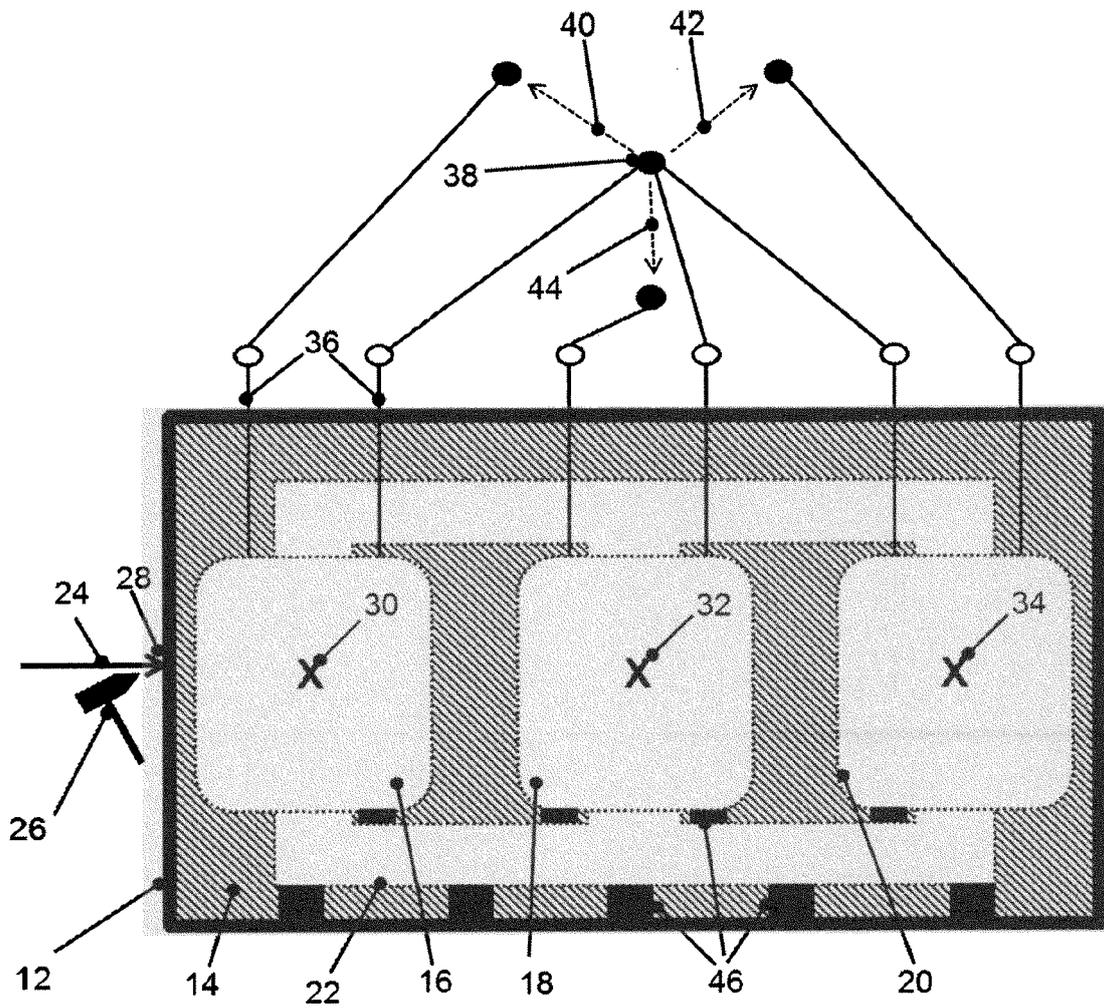
	36	conexiones de devanado
5	38	punto neutro
	40	primera tensión inducida
	42	segunda tensión inducida
10	44	tercera tensión inducida
	46	soportes
15	50	procesamiento a modo de ejemplo de datos de medición
	52	tensión inducida
	54	datos de medición de tensión inducida a lo largo del tiempo
20	56	transferencia al dominio de frecuencia
	58	datos de medición de tensión inducida en el dominio de frecuencia
25	60	máximos distintos a modo de ejemplo de datos de medición en el dominio de frecuencia
	62	primeros datos de medición en el dominio de frecuencia
	64	segundos datos de medición en el dominio de frecuencia
30	66	terceros datos de medición en el dominio de frecuencia
	68	frecuencia
35	70	amplitud
	72	frecuencia de máximo distinto
	74	máximo distinto
40	80	máximos a modo de ejemplo de datos de medición en el dominio de frecuencia
	82	cuartos datos de medición en el dominio de frecuencia
45	84	quintos datos de medición en el dominio de frecuencia
	86	sextos datos de medición en el dominio de frecuencia
	88	frecuencia de máximo distinto de cuartos datos de medición
50	90	frecuencia de máximo distinto de quintos datos de medición
	92	frecuencia de máximo local más alto de sextos datos de medición
55	94	frecuencia
	96	amplitud
	100	disposición de una sujeción de devanado a modo de ejemplo
60	102	primera fuerza de presión
	104	segunda fuerza de presión
	106	devanado con hilos de devanado
65	108	medios de aislamiento eléctricos

- 5
- 110 placas de sujeción
 - 112 eje de rotación
 - 120 curso de tensiones inducidas a lo largo del tiempo

REIVINDICACIONES

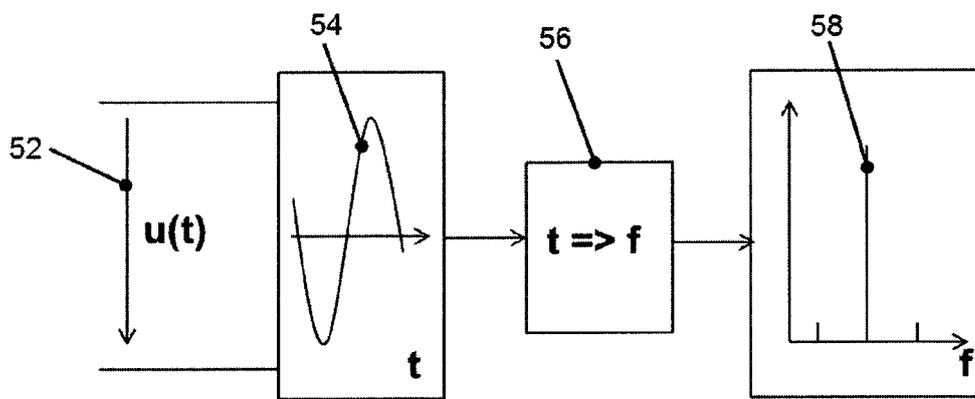
1. Procedimiento para clasificar el estado de la sujeción de devanado (100) de un transformador de potencia que está sumergido en un tanque de transformador (12) lleno de aceite (14), en el que el transformador de potencia comprende al menos una bobina de transformador (16, 18, 20) con al menos un devanado eléctrico (106) sujeto (102 ⇔ 104) dispuesto sobre un núcleo de transformador (22), comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:
- aplicar un impulso de fuerza mecánica (24) sobre una zona de impacto (28, 30, 32, 34) del tanque de transformador (12), de modo que el al menos devanado (106) se excite mecánicamente hasta la vibración y así se induzca una tensión (40, 42, 44, 52) dentro del al menos un devanado (106),
 - medir la tensión inducida (40, 42, 44, 52) del al menos un devanado (106) durante un periodo de tiempo durante la vibración, transferir (58) estos datos de medición del dominio de tiempo al dominio de frecuencia y proporcionar un conjunto de datos respectivo que comprende los datos de medición en el dominio de frecuencia (58),
 - buscar máximos locales (88, 90, 92) dentro de los datos de medición en el dominio de frecuencia del conjunto de datos,
- caracterizado por las etapas siguientes:
- clasificar el estado de la sujeción de devanado (100) del al menos un devanado (106) como defectuoso en caso de que no haya máximo distinto (74) dentro de los máximos locales,
 - clasificar el estado de la sujeción de devanado (100) del al menos un devanado (106) como al menos posiblemente suficiente en caso de que haya exactamente un máximo distinto (74) dentro de los máximos locales.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el dominio de frecuencia (68, 94) cubre una frecuencia máxima de al menos 1,5 kHz.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el transformador de potencia comprende varios devanados (106), en el que se proporciona un conjunto de datos respectivo de manera síncrona para al menos dos de estos devanados (106) y en el que se clasifica el estado de la sujeción de devanado (100) de estos al menos dos devanados (106).
4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que el transformador de potencia es un transformador de 3 fases.
5. Procedimiento según la reivindicación 3 o 4, caracterizado por que en caso de al menos dos conjuntos de datos con un máximo distinto respectivo (74) se realiza una referencia cruzada entre las frecuencias de los máximos distintos (74) cuando se clasifica el estado de una sujeción de devanado respectiva (100).
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que en caso de un transformador de 3 fases se mide la tensión inducida (40, 42, 44, 52) dentro de un devanado respectivo (106) entre un conductor de fase respectivo y un punto neutro real o virtual (38).
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el transformador de potencia comprende un cambiador de toma y el procedimiento se repite secuencialmente con diferentes configuraciones del cambiador de toma.
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se repite al menos dos veces, en el que la zona de impacto (28, 30, 32, 34) del impulso de fuerza mecánica respectivo (24) está sujeta o no a una variación.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que al menos una zona de impacto (28, 30, 32, 34) se ubica en una pared lateral del tanque de transformador (12) por al menos un devanado (106) sujeto (102 ⇔ 104) a analizar.
10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la energía del impulso de fuerza mecánica (24) asciende a un intervalo inferior a 500 J.
11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el impulso de fuerza mecánica (24) se aplica de una manera reproducible con medios de impulso normalizados respectivos (26).

12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que un máximo local (88, 90, 92) en el dominio de frecuencia se clasifica como un máximo distinto (74) en caso de que sea al menos dos veces los otros máximos respectivos.
- 5
13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dos máximos locales adyacentes se clasifican como un máximo local en caso de que su frecuencia difiera en no más de 30 Hz.



10

Fig. 1



50

Fig. 2

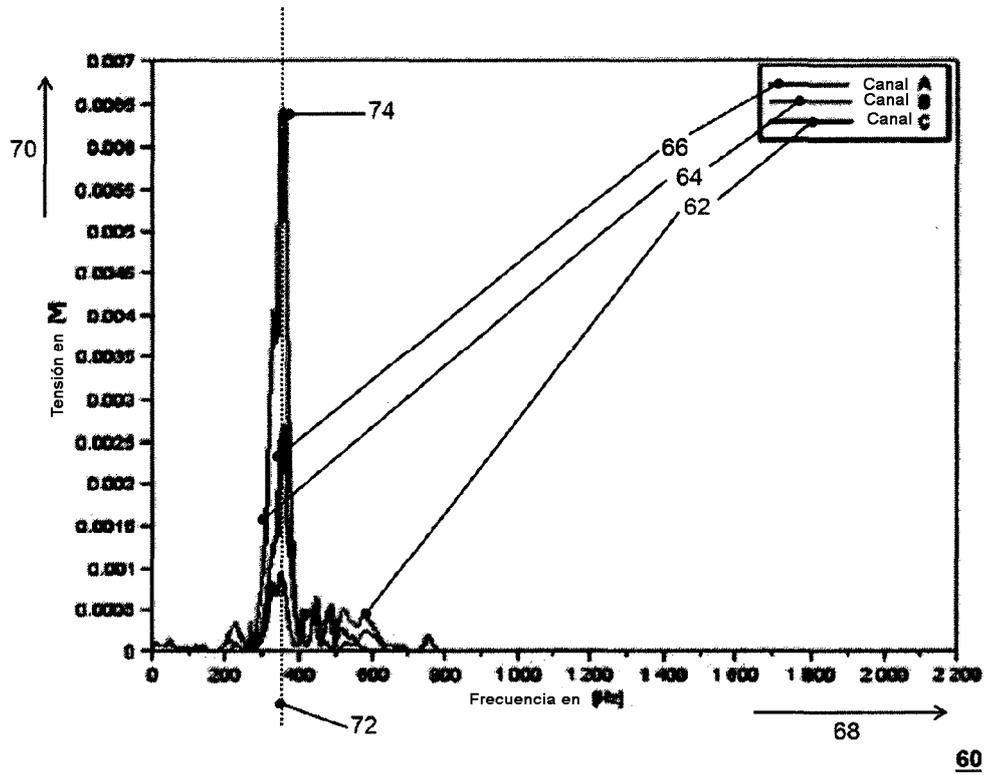


Fig. 3

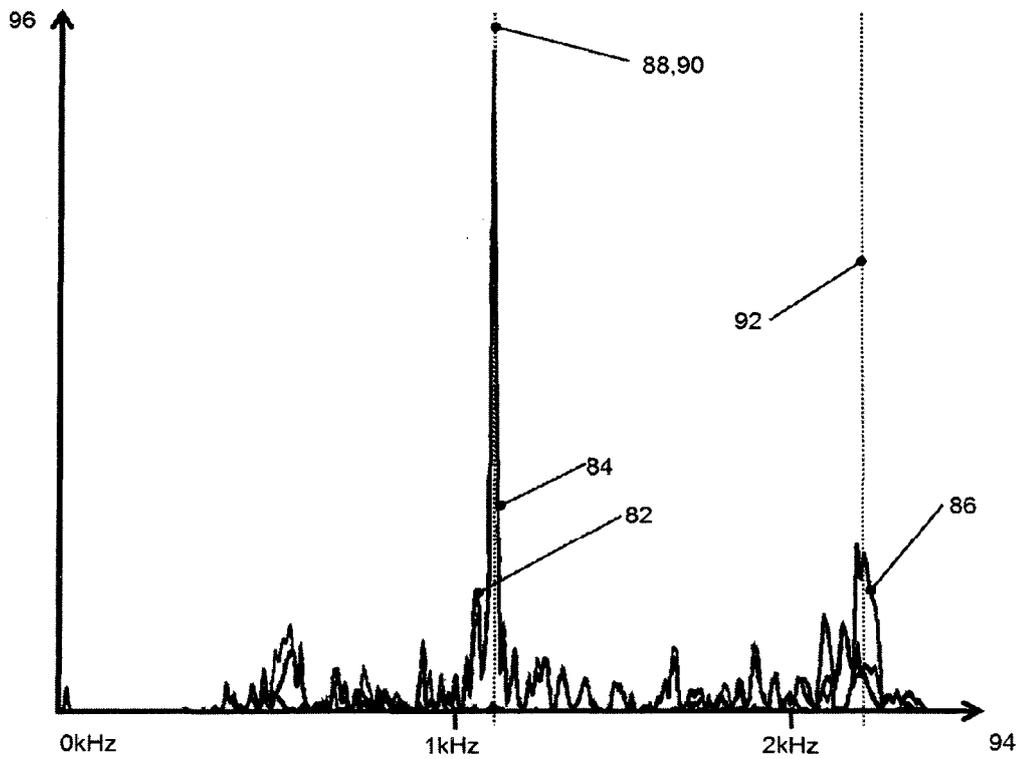


Fig. 4

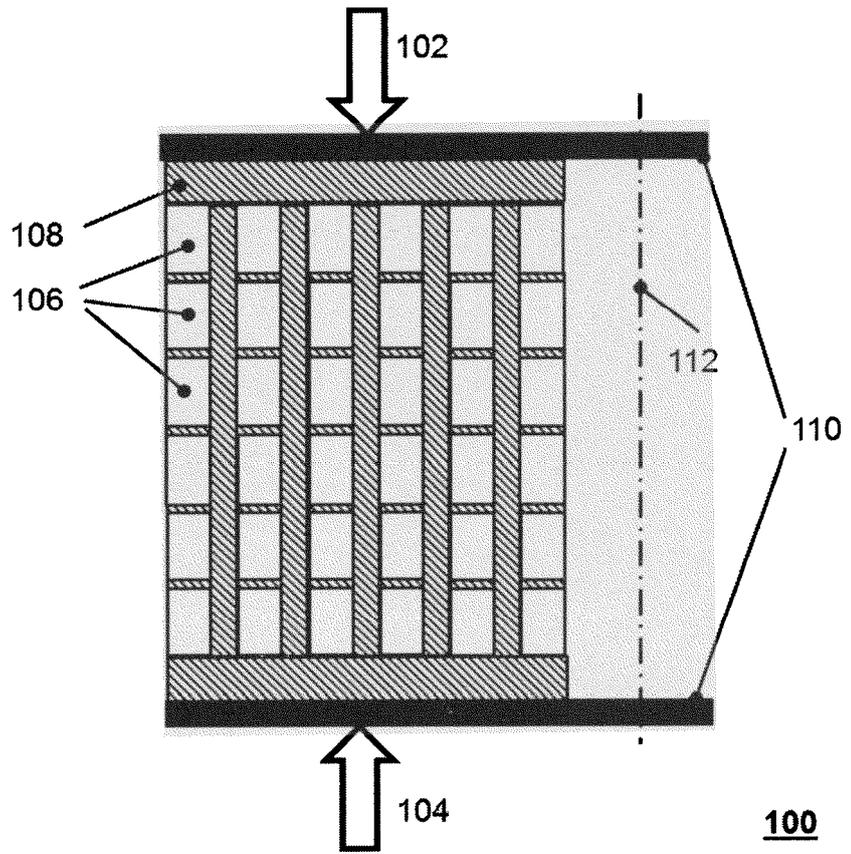


Fig. 5

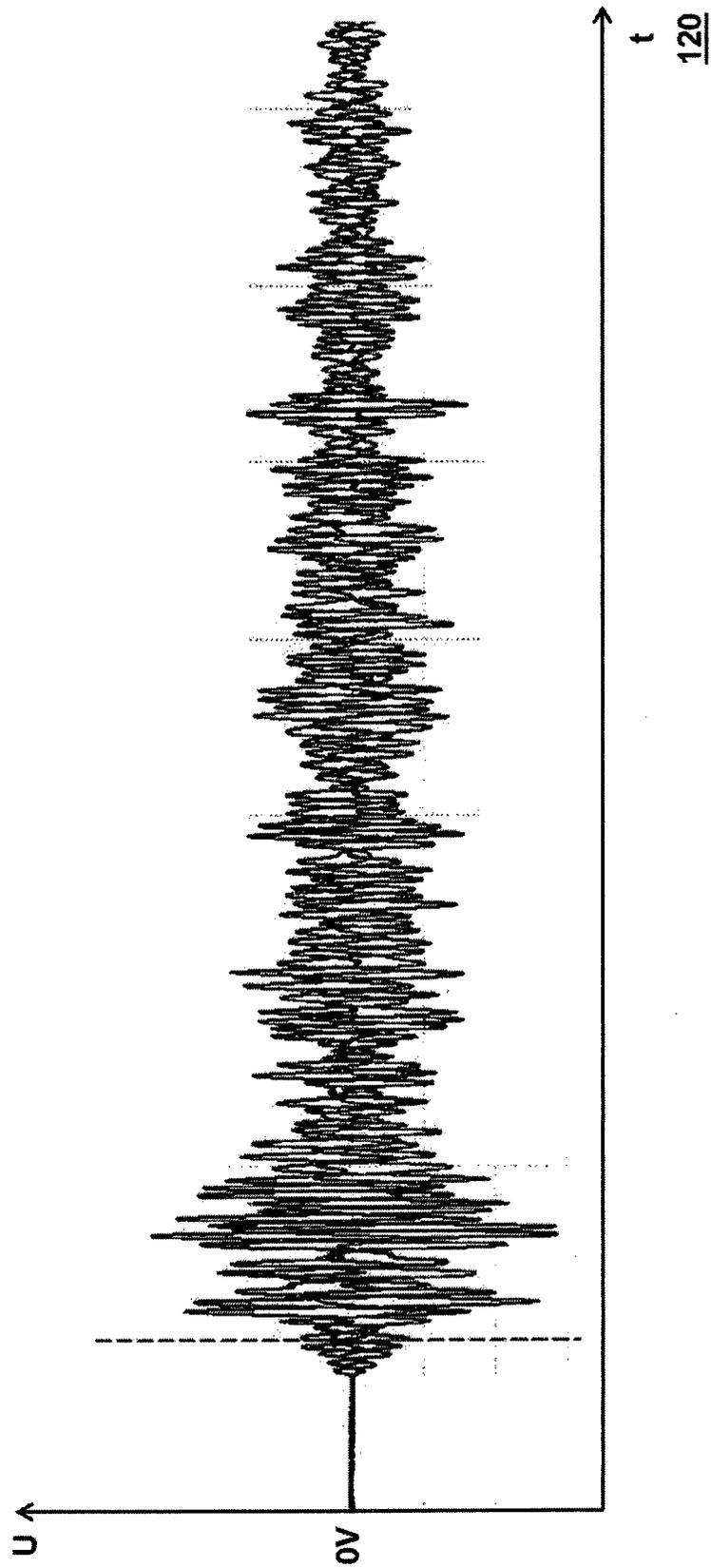


Fig. 6