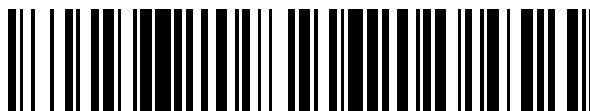


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 566 552**

51 Int. Cl.:

G01R 31/12 (2006.01)

G01R 31/34 (2006.01)

G01R 27/28 (2006.01)

G01R 31/28 (2006.01)

G01R 31/02 (2006.01)

G01R 31/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.08.2012 E 12748641 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.03.2016 EP 2739983**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la detección de un deterioro del estado de un aislamiento en una máquina eléctrica en funcionamiento**

30 Prioridad:

01.08.2011 AT 11202011

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

13.04.2016

73 Titular/es:

**TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN (100.0%)
Karlsplatz 13
1040 Wien, AT**

72 Inventor/es:

WOLBANK, THOMAS

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 566 552 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 y dispositivo para la detección de un deterioro del estado de un aislamiento en una máquina eléctrica en funcionamiento

5 La invención se refiere a un procedimiento de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 así como a un dispositivo de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 10, para la verificación en-línea de un aislamiento en o bien junto a una máquina eléctrica, es decir, para la verificación del aislamiento durante el funcionamiento de la máquina.

10 Una máquina de este tipo o bien un dispositivo de este tipo se conocen a partir de Grubic S. y col. "Investigation on surge testing for winding insulating fault detection in an online environment", ENERGY CONVERSION CONGRESS AND EXPOSITION, 2009, ECCE, IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ., USA, 20 de Septiembre de 2009 (20-09.2009), páginas 3255-3261. XP031888057. En este caso, deben determinarse los defectos de aislamiento en máquinas eléctricas sobre todo en ensayos fuera de línea. No obstante, una propuesta tiende a excitar en un ensayo en-línea la máquina con un impulso corto de tensión o bien un impulso de corriente propiamente dicho, que se provoca a través de una descarga de condensadores previstos propiamente para ello. En este caso, se provoca una oscilación
15 con una frecuencia de hasta 50 kHz, siendo determinado en este intervalo de frecuencia el comportamiento eléctrico de la máquina a partir de la inductividad del arrollamiento. Se indica que el ensayo de choque en-línea se puede utilizar para la detección de defectos del arrollamiento, siendo cortocircuitados aproximadamente el 10 % de los arrollamientos.

20 Las máquinas eléctricas controladas por convertidor se emplean cada vez con más frecuencia en diferentes campos. En particular, tales sistemas de accionamiento no sólo se emplean por norma en la industria, sino también en sistemas de tracción, pero en particular en instalaciones críticas para la seguridad. En este caso, cada vez es más importante supervisar estos sistemas de manera preventiva con respecto a su estado y mantenerlos en buen estado. Una razón principal para el fallo de tales máquinas reside siempre de nuevo en el deterioro de los aislamientos, en particular en los arrollamientos de estator. Las investigaciones han mostrado que aproximadamente el 30 a 40 % de
25 todos los fallos están relacionados con el estator, siendo ocasionados aproximadamente el 70 % de ellos de nuevo a deterioros o fallos en el aislamiento del arrollamiento o en el aislamiento a masa.

El aislamiento de los arrollamientos de estator está expuesto a solicitaciones especialmente altas cuando se realiza un funcionamiento con un convertidor. En este caso son importantes las solicitaciones térmicas, eléctricas, mecánicas y condicionadas por el medio ambiente. Estas solicitaciones conducen con el tiempo a un deterioro del
30 aislamiento y pueden conducir a un fallo grave de la máquina o bien de todo el sistema de accionamiento con la máquina.

Pero los deterioros de los estados de aislamiento pueden aparecer no sólo dentro de los arrollamientos, sino también en la zona de conductos de entrada o bien de cableados. También aquí los deterioros o fallos de los
35 aislamientos son un motivo para el fallo de una máquina y, por lo tanto, habría que detectar también aquí lo más rápidamente posible las modificaciones en el estado del aislamiento.

Ya se han propuesto en el estado de la técnica diferentes procedimientos en-línea y fuera de línea para la detección de fallos del aislamiento, siendo publicada una exposición y evaluación de las diferentes técnicas, por ejemplo, en el Artículo Grubic S. y col. "A Survey on Testing and Monitoring Methods for Stator Insulation Systems of Low-Voltage Induction Machines Focusing on Turn Insulation Problems", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, Nº
40 12, páginas 4127-4236, 2008. La determinación de un deterioro de un aislamiento, a saber, en particular entre espiras individuales de un arrollamiento, se explica en este caso que es posible en primer término por medio de ensayos fuera de línea; como ensayo fuera de línea para tales máquinas se menciona el llamado procedimiento-PD (PD – Partial Discharge - Descarga Parcial), en el que se indica como inconveniente el equipamiento caro adicional, que es necesario para ello. No obstante, a partir de este lugar de la literatura se deduce que sobre todos los procedimientos fuera de línea son prometedores de éxito, como en particular el llamado ensayo de tensión de choque (Surge Test). En una verificación fuera de línea de este tipo es un inconveniente que estas verificaciones o ensayos no se pueden realizar continuamente, sino sólo a intervalos de tiempo relativamente grandes. No obstante, sería importante una supervisión más o menos continua, es decir, una supervisión en-línea, para la detección de eventuales deterioros del estado de un aislamiento.

50 Se conoce a partir de Grubic S. y col. "A New Concept for Online Surge Testing for the Detection of Winding Insulation Deterioration", Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), páginas 2747 – 2754, 2010 un concepto para el ensayo en-línea con respecto a la detección de un deterioro en un aislamiento de arrollamiento. En esta técnica, se proponen diferentes formas de circuitos de entrada y de salida de componentes eléctricos, en particular inductancias, en el circuito de suministro de tensión (circuito de alimentación), en este caso también, por ejemplo, la separación del motor fuera de los arrollamientos. Aquí es necesaria la aplicación de varios impulsos con nivel creciente de la tensión en el motor. Esta técnica es relativamente compleja y laboriosa.

En el documento JP 2010-268645 A se describe una técnica para la verificación de aislamientos en motores de

- corriente alterna, en particular de automóviles. En particular, se detecta aquí el estado del aislamiento del arrollamiento de la máquina eléctrica frente a la carcasa de la máquina, es decir, a masa, siendo detectada siempre la corriente en un punto neutral (punto cero); en este caso, también son evaluados procesos de estabilización de esta corriente de punto cero como consecuencia de una excitación, siendo calculada una variable de la amortiguación. La variable de medición necesaria puede ser detectada o bien a través de medición de la corriente de suma entre el inversor y la máquina, o a través de la medición de la corriente entre la carcasa de la máquina y masa, o a través de la medición de la corriente entre la carcasa del inversor y masa, siendo necesario en cada caso un sensor adicional propio. Solamente es posible detectar un deterioro del aislamiento a través de la comparación de variables de medición de al menos dos motores.
- 5
- 10 Se conoce a partir del documento US 6.483.319 B1 un procedimiento para la realización de ensayos de la respuesta de la impedancia de banda ancha, para detectar un eventual fallo inminente de un arrollamiento de estator. La respuesta de la impedancia se puede obtener a través de la aplicación de frecuencias discretas en el arrollamiento del estator, siendo la consecuencia, sin embargo, una resolución reducida.
- 15 En el documento WO 03/087855 A1 se describe la medición de corrientes en un regulador de motor, en el que se publica también prever una sobreexploración para la reducción de la relación de señal / ruido en la señal de medición. Aquí no se describe la investigación de estados de aislamiento.
- En el documento RU 2208236 C2 se describe evaluar durante la diagnosis del aislamiento de arrollamientos de motores eléctricos las señales de la tensión de una onda empujada de la tensión, por lo que hay que instalar adicionalmente una medición de la tensión en los terminales del motor.
- 20 Hay que mencionar aquí todavía la solicitud EP más antigua no publicada 10450114.3, que corresponde a esta solicitud de patente-PCT correspondiente WO/EP2010/061502 (ver también P. Nussbaumer y col. "Saliency Tracking based Sensorless Control of AC Machines Exploiting Inverter Switching Transients", Proceedings of IEEE Symposium on Sensorless Control for Electrical Drives, SLED, 2010, páginas 238-242), en la que –a diferencia de la presente problemática de la supervisión del aislamiento – se explica la localización de asimetrías en una máquina de corriente alterna con la ayuda de derivaciones temporales transitorias de la corriente, que son provocadas cuando se aplican saltos de la tensión en la máquina en su arrollamiento. En este caso, el desarrollo transitorio de la derivación temporal de la corriente se explora con una frecuencia de exploración comparativamente alta, para obtener valores digitales lo más expresivos posible para la modificación temporal de la corriente, con respecto a una ventana de observación corta. Sin embargo, no se pueden localizar de esta manera los fallos del aislamiento en desarrollo.
- 25
- 30 Por lo tanto, el cometido de la invención es proponer un procedimiento o bien un dispositivo como se han indicado al principio, con los que se puede detectar una detección en-línea fiable de deterioros del estado de aislamiento en la zona de una máquina eléctrica, debiendo mantenerse, además, lo más reducido posible el gasto de aparatos.
- En este caso, la invención se basa en que la configuración de un sistema de accionamiento con inversor y máquina de inducción se representa a través de una red compleja de resistencia, inductividades y capacidades. En este caso, por ejemplo, la topología y la configuración del rectificador tienen una influencia sobre su acoplamiento capacitivo parasitario a masa. El aislamiento de la máquina influye en las capacidades parasitarias fase a masa, fase a fase y arrollamiento a arrollamiento (aislamiento de arrollamiento general o bien aislamiento de los arrollamientos individuales entre sí del llamado "Aislamiento-Entre-Espiras"). Los tiempos de subida muy cortos de los impulsos de la tensión, que se aplican durante la conexión del inversor en los arrollamientos de la máquina, conducen a reflexiones y, por lo tanto, a oscilaciones de alta frecuencia y, en concreto, no sólo en la tensión aplicada sino de manera correspondiente también en la corriente provocada en los arrollamientos respectivos. Cuando se modifica ahora un elemento en la red compleja mencionada anteriormente, a saber, en particular a través de un aislamiento-entre-espiras deteriorado, se "desintoniza" todo el sistema, de manera que resulta una modificación en las oscilaciones transitorias de alta frecuencia mencionada anteriormente de la corriente.
- 35
- 40
- 45 Por otra parte, es deseable que en la mayoría de los sistemas de accionamiento actuales en el circuito de alimentación estén presentes ya sensores de corriente o sensores, que detectan la derivación temporal de la corriente, debiendo poder emplearse estos sensores de manera conveniente también para la presente técnica de la detección en-línea de deterioros del estado de aislamientos.
- 50 Para la solución del cometido mencionado, la invención prevé un procedimiento y un dispositivo, respectivamente, como se indican en las reivindicaciones dependientes. Las formas de realización ventajosas son objeto de las reivindicaciones dependientes.
- De forma abreviada, la invención prevé, por lo tanto, sobre todo un procedimiento para la detección en-línea de un deterioro del estado de un aislamiento en una máquina eléctrica, en el que con la ayuda de un inversor se aplica una tensión en forma de fases en el (los) arrollamiento(s) de la máquina y se detecta la corriente provocada de esta manera y/o su derivación temporal como señal de medición con la ayuda de al menos un sensor y a continuación se sobreexplora con una frecuencia alta en comparación con las frecuencias características para una estabilización, después de lo cual se evalúa la señal obtenida a través de la sobreexploración con respecto a variables
- 55

características del proceso de estabilización, como sobreexcitaciones y/o frecuencias propia y/o constante de amortiguación, para la detección de un eventual deterioro del aislamiento.

De manera correspondiente, se acondiciona un dispositivo para la detección en-línea de un deterioro del estado de un aislamiento en una máquina eléctrica, en el que a la máquina eléctrica está asociado un circuito de alimentación con un inversor así como al menos un sensor en una línea de corriente hacia la máquina, cuyo sensor detecta cuando se aplica una tensión escalonada la corriente provocada en al menos un arrollamiento de la máquina o su derivación temporal como señal de medición, estando conectada con el sensor una instalación de sobreexploración para la sobreexploración de la señal de medición con una frecuencia comparativamente alta con relación a procesos de estabilización y los valores de exploración obtenidos son conducidos a una unidad de cálculo para la determinación de variables características del proceso de estabilización cuando se aplica la tensión en forma de fases, como sobre-oscilación y/o frecuencia propia y/o constante de amortiguación, para la detección de un eventual deterioro del aislamiento.

La técnica propuesta para la detección de defectos del aislamiento o bien más exactamente para la detección de un deterioro del aislamiento utiliza de esta manera modificaciones en la "respuesta de la corriente escalonada" a la tensión en forma de fases aplicada, como frecuencia propia o bien tasa de amortiguación, sobre excitaciones, pero también – para la detección real de fallos – de valores en el estado estabilizado (estado estacionario) como consecuencia de una modificación atribuible a un fallo (inicial) en un elemento del sistema complejo mencionado anteriormente para la supervisión del aislamiento. La respuesta escalonada al bien mantenimiento de conmutación del inversor es detectada en este caso con sensores de corriente o, en cambio, sensores de derivación de la corriente, con preferencia con sensores, que ya están presentes en el circuito de alimentación de la máquina. En este contexto, es favorable que en la técnica presente sean evaluadas corrientes de fases, para que se puedan suprimir sensores separados. En este caso, también es posible tomar como base diferentes estados de conmutación del inversor y detectar las reacción del sistema a estas modificaciones de la tensión en forma de fases y, en concreto, con tasas de exploración comparativamente altas, en el intervalo de varios MHz (o bien MS/s – Megamuestras por segundo), pudiendo detectarse modificaciones en las variables características de la oscilación de la corriente de alta frecuencia. De manera especialmente preferida, como sensores se utilizan los sensores de tipo Rogowski, con los que se puede detectar la derivación temporal de las corrientes. Estos sensores de tipo Rogowski se designan también como sensores-CDI (CDIU – Inspector de la Derivada de la Corriente). En los ensayos realizados han resultado favorables la exploraciones con una frecuencia de exploración de 40 MHz, en cambio, las frecuencias de la oscilación en las oscilaciones de la corriente activadas están, por ejemplo, en el orden de magnitud de 100 ó 200 kHz.

Una ventaja de la técnica presente se puede ver en que se puede detectar el aislamiento entre las fases y también el aislamiento entre las espiras de fases individuales, a parte del aislamiento entre arrollamiento y masa. Se detectan diferencias en la impedancia entre alternador (inversor, invertir) y motor, que conducen a reflexiones de la onda empujada de la tensión en las espiras individuales del arrollamiento, en las señales correspondientes de la corriente de fases. Además, en este contexto es también ventajoso que es posible la verificación de un deterioro del aislamiento también en el caso de una simple máquina eléctrica, pudiendo detectarse a través de una comparación de las variables características de las corrientes de fases individuales del motor respectivo un deterioro del aislamiento del arrollamiento de una fase en forma de una asimetría de la propiedad de aislamiento.

Para la sobreexploración de alta frecuencia descrita se pueden emplear, por ejemplo, convertidores A/D de exploración de alta frecuencia (designados a continuación también de forma abreviada "ADC"), que se pueden utilizar adicionalmente con los sensores de corriente o bien de derivación de la corriente económicos.

Para el procesamiento de datos (propriadamente dicho) se pueden emplear circuitos o bien medios de cálculo lógicos convencionales económicos, de manera que el gasto para la realización de la invención es extraordinariamente reducido y económico.

A pesar de todo, de esta manera se posibilita por primera vez una detección continua segura de fallos en un aislamiento de un arrollamiento ya durante su aparición, cuando existe un debilitamiento del aislamiento, una modificación de la capacidad de aislamiento, de la resistencia, de la inductividad, etc. Como se ha mencionado, en este caso el aislamiento-entre-espiras es especialmente crítico, y un cortocircuito entre espiras se considera como fallo especialmente crítico, que requiere especialmente en máquinas grandes una reacción inmediata para impedir una destrucción completa de arrollamientos y paquetes de chapas. Con la invención se puede solucionar esta problemática y, en concreto, sin el gasto adicional considerable anterior, como tal vez con cableado especial de máquina e inversor, sin los sensores de corriente de alta precisión necesarios anteriormente y en particular sin las interrupciones típicas del funcionamiento.

Como variables características del proceso de estabilización se utilizan en la presente técnica en particular la sobre-oscilación o bien la frecuencia propia de la oscilación, pudiendo utilizarse como alternativa a la frecuencia propia o, en cambio, como complemento a ello también la constante de amortiguación de la oscilación transitoria. Con estas variables características se puede determinar de una manera inmediata y segura un fallo incipiente en el

aislamiento.

A este respecto, se ha revelado que es especialmente ventajoso para una detección segura que las variables características obtenidas a través de la evaluación sean comparadas con variables características correspondientes que han sido obtenidas en un proceso de medición anterior, en una máquina que funciona correctamente. Tal comparación se puede realizar fácilmente y de esta manera resulta una indicación directa de reacciones modificadas del sistema, cuando las variables características comparadas son diferentes.

Adicionalmente o en su lugar, también es favorable para una detección en-línea sencilla que las variables características obtenidas sean comparadas con valores umbrales predeterminados, de manera que en el caso de que se excedan, se deduce un estado de fallo. Los valores umbrales predeterminados se pueden establecer en este caso para cada máquina individual en virtud de cálculos sencillos o ensayos realizados con antelación, de manera que ya cuando se exceden estos valores umbrales se deduce un estado de fallo o un fallo incipiente; de esta manera, las desviaciones de las variables características que se encuentran dentro de los límites de tolerancia se pueden separar como indicadores no deseados para fallos en desarrollo. Por ejemplo, se pueden tener en cuenta también las modificaciones de las variables características provocadas a través de calentamiento condicionado por el funcionamiento.

La frecuencia propia se puede calcular muy fácilmente a través de la determinación del intervalo de tiempo entre valores extremos sucesivos de la señal de medición. De manera similar, se puede calcular de una manera sencilla la sobre-oscilación como diferencia entre el valor en el estado estabilizado y el (primer) valor extremo en la señal (sobrexplorada).

Con la presente técnica se pueden detectar también fallos del aislamiento ya presentes, por lo tanto no sólo incipientes, de manera que a tal fin es ventajoso que como variable característica para la detección de fallos reales del aislamiento, se utiliza el estado estabilizado (estacionario) de la señal. En este caso, es favorable, además, para una detección sencilla de fallos que el valor de la señal sea calculado en el estado estabilizado en el caso de la detección de la derivación temporal de la corriente inducida como el último valor medido cuando se aplica una tensión constante. Por otra parte, a tal fin es también ventajoso que el valor de la señal en el estado estabilizado en el caso de la detección directa de la corriente inducida sea calculado a través de dos valores de exploración distanciados y el gradiente de la señal definido a través de estos valores de exploración.

Una forma de realización ventajosa del presente procedimiento se caracteriza a continuación porque se realizan varios procesos de medición con la aplicación de una tensión en forma de fases y se realiza una evaluación estadística de los resultados obtenidos. De esta manera se pueden obtener más informaciones características con respecto a la detección de defectos (incipientes), siendo mejorada también la seguridad de la detección.

Por lo que se refiere al presente dispositivo, éste se caracteriza de manera correspondiente para la determinación sencilla de manera especial por al menos una unidad de comparación, que está prevista para la comparación de las variables características obtenidas con variables características registradas correspondientes de la máquina durante la función correcta y/o con un valor umbral predeterminado. En la unidad de comparación está conectada con ventaja una unidad de evaluación para la detección o bien la identificación de deterioros del aislamiento y, dado el caso, de defectos del aislamiento.

Para la delimitación temporal de los ensayos realizados en-línea a los procesos esenciales durante la activación de los procesos de estabilización se prevé de manera conveniente un circuito de ventana entre la instalación de sobreexplotación y la unidad de cálculo (propriadamente dicha), estando conectado el circuito de ventana con una entrada de control en una unidad de control que activa el inversor y establece una ventana de observación predeterminada, comenzando con una señal de control de la unidad de control, a la que se conducen los valores de exploración para el procesamiento siguiente.

Como ya se ha indicado, la unidad de cálculo puede estar realizada en el presente caso con componentes sencillos económicos, siendo especialmente favorable una forma de realización con un componente-FPGA (Field programmable gate array - campo de enlace libremente programable). Dado el caso, en su lugar o, en cambio, también de forma adicional, puede estar previsto un procesador de señales digitales (DSP) para la realización de al menos una parte de los cálculos.

A continuación se explica la invención con la ayuda de ejemplos de realización especialmente preferidos, a los que no debería limitarse, sin embargo, la invención, y se explica todavía en detalle con referencia a los dibujos. En este caso:

La figura 1 muestra un esquema del tipo de diagrama de flujo de una forma de realización del dispositivo de acuerdo con la invención.

La figura 1A muestra una parte de un circuito detector o bien unidad de cálculo de un dispositivo de este tipo en una

forma de realización más concreta, un poco modificada.

La figura 2 muestra de forma esquemática una señal de medición, como se obtiene con un sensor de Rogowski (sensor-CDI), y que representa la derivación temporal de la corriente inducida, di/dt , en unidades discretas (“arbitrary units” – “a. u.”).

- 5 La figura 2A muestra un fragmento de la señal di/dt de la figura 2 en una escala dilatada en el tiempo, para la ilustración de los puntos de exploración de alta frecuencia para esta señal en una relación práctica de la alta frecuencia de sobreexplotación con respecto a la frecuencia del proceso de estabilización.

- 10 La figura 3 muestra una señal similar a la figura 2, es decir, una derivación temporal de la corriente inducida, con variables características representada en ella, a saber ΔT como valor recíproco de la frecuencia de la estabilización, una sobre-oscilación Δh y un valor estacionario Y_{∞} .

La figura 4 muestra de forma esquemática una señal de medición comparable sobre el tiempo, como se obtiene con un sensor de corriente sencillo, estando ilustradas de la misma manera Δh y ΔT .

- 15 La figura 5 muestra la disposición de tres arrollamientos de una máquina de inducción eléctrica, con dos capacidades de interferencia (capacidades de fallo) C_F , C_F' , por una parte, entre la primera toma de un arrollamiento de fases U y masa así como, por otra parte, una punta de estrella de los tres arrollamientos de fases U, V, W y masa.

- 20 La figura 6 muestra una respuesta de derivación de la corriente obtenida en una disposición de ensayo de este tipo con una capacidad de fallo C_F entre la primera toma y masa, en la que se representan tanto la curva de referencia como también la curva de la señal de medición que resulta en presencia de la capacidad de fallo, correspondiendo esta representación a una conmutación de la máquina desde el estado inactivo hasta el estado activo.

La figura 7 muestra una señal di/dt correspondiente similar a la figura 6, una vez como referencia y, por otra parte, como señal de medición de “error”, en presencia de una capacidad de fallo C_F , pero ahora en el caso de una conmutación con la ayuda del inversor desde un estado activo, con variable positiva, a otro estado activo, con valor negativo.

- 25 La figura 8 muestra un diagrama similar a la figura 6, en el que ahora a parte de una señal de referencia, se representan señales de medición en presencia de la capacidad de fallo C_F como también en presencia de una capacidad de fallo C_F' ; y

- 30 Las figuras 9A y 9B muestran diagramas esquemáticos para la ilustración de variables características de la señal estadística de procesos de estabilización de la conmutación medidos, a saber, por una parte, sobre-oscilaciones (figura 9A) y, por otra parte, frecuencia propia (figura 9B), estando ilustradas, respectivamente, una referencia, además – con línea de trazos – la curva en el caso de una capacidad de fallo C_F' y, además – con línea de puntos – la curva en el caso de una capacidad de fallo C_F , existiendo una evaluación estadística de 240 mediciones.

- 35 En la figura 1 se representa de forma esquemática una forma de realización preferida, especialmente adecuada para la realización del presente procedimiento, de un dispositivo de acuerdo con la invención para la detección en-línea de deterioros del estado de aislamientos en una máquina eléctrica.

- 40 El dispositivo 1 mostrado en la figura 1 sirve en este caso para la observación en-línea de una máquina eléctrica 2 (máquina de inducción), que puede ser monofásica o polifásica, en la que se presuponen en la figura 1 de forma ejemplar tres fases, aunque en la figura 1 se representa de forma esquemática sólo un arrollamiento 3 individual para la máquina 2. A esta máquina 2 está asociado un circuito de suministro o circuito de alimentación 4 con tres líneas de corriente 4A, 4B y 4C, que corresponden a las tres fases; en este circuito de alimentación 4 está previsto también un inversor 4', que prevé las señales correspondientes de la tensión para la máquina 2; además, se ilustra un condensador 5 de conexión de corriente continua asociado al inversor 4'.

- 45 En las líneas de fases 4A, 4B, 4C individuales están dispuestos sensores 6, 7, 8 correspondientes, que en el presente caso, para la presente tecnología, sirve para la detección de la corriente i o bien de la derivación temporal de la corriente, di/dt , en las fases 4A, 4B, 4C individuales. Como sensores de derivación de la corriente se pueden utilizar, por ejemplo, los sensores de Rogowski conocidos, también llamados sensores-CDI. Por otra parte, también se conocen sensores de corriente y no necesitan aquí tampoco más explicación.

- 50 Las señales de salida de los sensores 6, 7, 8 son alimentada como señales de medición a una instalación de sobreexploración 12, que está realizada con convertidores-A/D (ADCs) 9, 10, 11, respectivamente, uno para cada fase 4A, 4B, 4C. La velocidad de exploración es en este caso tan alta que se asegura una determinación exacta de las señales de medición durante la estabilización. Como se ha mencionado, la frecuencia de exploración puede ser en este caso varios 10 MHz, por ejemplo 40 MHz, pero para muchas aplicaciones son suficientes también sólo

algunos MHz, por ejemplo hasta 10 MHz.

Las señales de salida de los ADCs 9, 10, 11 son alimentadas a continuación a circuitos de ventana 13, 14, 15, que son parte de una unidad de cálculo 16 y establecen ventanas de observación, es decir, periodos de tiempo para las señales de medición a evaluar después de su exploración. A tal fin, los circuitos de ventana 13, 14, 15 están conectados con una unidad de control 17 para el inversor 4', de manera que esta unidad de control 17 es, por ejemplo, una unidad de control de la modulación de la amplitud del impulso (PWM) y emite instrucciones de conmutación correspondientes al inversor 4', como se conoce en sí. A partir de estas señales de conmutación o de control se fija entonces la ventaja de observación respectiva, es decir, el intervalo de tiempo de observación respectivo, en los circuitos de ventana 13, 14, 15, de manera que cuando se alcanza el final de la ventana respectiva se termina la evaluación, es decir, la alimentación, de los valores de exploración de los ADCs 9, 10 y 11, hacia los componentes del ordenador 18, 19, 20 propiamente dichos.

En estos componentes de ordenador 18, 19, 20, es decir, en general, en la unidad de cálculo 16 propiamente dicha, se calculan las variables características con respecto a las señales de corriente o a las señales que indican la derivación de tiempo di/dt de la corriente, como especialmente sobre-oscilaciones y frecuencia propia o bien constante de amortiguación. Además, aquí se puede calcular también el valor de la señal en el estado estacionario, es decir, en el estado estabilizado.

A continuación se alimentan los valores característicos calculados a una unidad de comparación 21, donde se lleva a cabo una comparación con variables características correspondientes, que fueron obtenidas en un instante anterior en un proceso de medición en una máquina 2 que funciona correctamente.

A continuación se realiza en otra unidad de comparación 22 una comparación de las variables características calculadas con valores umbrales predeterminados, que pueden ser alimentados, por ejemplo, a través de un control de máquina 23 o bien pueden ser registrados previamente en una memoria (no mostrada). En el control de la máquina 23 puede estar conectada la primera unidad de comparación 21 mencionada.

Después de la realización de las comparaciones se lleva a cabo en una unidad de evaluación 24 la evaluación definitiva de las señales, es decir, el reconocimiento de un fallo (incipiente) y su identificación, en particular con la ayuda de los resultados de las comparaciones precedentes.

En la primera unidad de comparación mencionada 21, durante la comparación con los parámetros de la máquina 2 en el estado normal, se eliminan las modificaciones o asimetrías de las fases dependientes del punto de trabajo. Pero cualquier otra desviación de la señal de las fases desde el estado normal se establece y se somete a la comparación con el valor umbral en la unidad de comparación 22. Cuando allí el parámetro de la señal, es decir, la variable característica, está por encima del valor umbral, se obtiene una información correspondiente con respecto a la detección de fallos e identificación en la unidad de evaluación 24, y se conduce el resultado, por ejemplo, al control de la máquina 23, para iniciar medidas correspondientes, como por ejemplo una operación de emergencia o una interrupción del sistema.

Al control de la máquina 23 se alimenta, por lo demás, en 25 un valor de referencia para los procesos a controlar.

En la figura 1A se representa en una disposición simplificada, a saber para una fase individual, una franja para la sobreexplotación y el procesamiento de señales incluyendo las comparaciones y la evaluación de señales mencionadas anteriormente. En particular, en este caso se muestra un convertidor A/D, como por ejemplo el ADC 9 (pero dado el caso también 10, 11), que está conectado a través de una memoria tampón 26 con un módulo lógico en forma de un campo de enlace libremente programable (FPGA) 27. La memoria tampón 26 tiene en este caso la finalidad de almacenar temporalmente los datos de salida emitidos por el ADC con una alta velocidad, puesto que el módulo-FPGA 27 no puede procesar, en general, directamente una cantidad tan grande de datos.

Como se ilustra, además, en la figura 1A con líneas de trazos, para los diversos cálculos y evaluaciones, si no pueden ser realizados ya por el módulo lógico-FPGA 27, puede estar conectado todavía un procesador de señales digitales (DSP) 28.

Como ya se ha mencionado, a través de la aplicación de diferentes conmutaciones del inversor y a través de la medición de la reacción del sistema a éstas, se pueden detectar modificaciones de la tensión empinadas, en forma de fases, en el caso de la aplicación de una exploración con una alta velocidad de exploración, con una frecuencia de varios MHz, se pueden detectar modificaciones en las variables características de la oscilación de la corriente de alta frecuencia.

En la figura 2 se ilustra de forma ejemplar una señal de medición 30, obtenida con la ayuda de un sensor de Rogowski, para di/dt , con unidades de amplitudes discrecionales (a. u. – "arbitrary units"). Como se muestra claramente, aquí se activa el sistema desde el estado inactivo (valor inicial 0) a través de un impulso de corriente positivo el inversor 4' (ver la figura 1), y la corriente i provocada en el arrollamiento respectivo, por ejemplo, el arrollamiento 3 según la figura 1 o bien su derivación temporal di/dt muestra entonces un proceso de estabilización

de corta duración, después del cual se alcanza un estado estabilizado, estacionario, por ejemplo con un valor apenas por encima de 1 según la figura 2.

La señal de medición 30 según la figura 2 ha sido obtenida, como se ha mencionado, con la ayuda de un sensor de Rogowski como sensor 6 (o 7 u 8), siendo realizada una sobreexploración, por ejemplo, en el presente caso con una frecuencia de exploración de 40 MHz.

Esta sobreexploración se representa de forma esquemática en la figura 2A, siendo ilustrado en concreto en la figura 2A el primer sobre-oscilador positivo 31 en una escala dilatada en el tiempo (comparar con la figura 2), y siendo ilustrados por medio de los puntos 31' los puntos de exploración individuales. Como se muestra claramente, en este caso la velocidad de exploración o la frecuencia de exploración son esencialmente más altas que la frecuencia del proceso de estabilización, como se define de forma ilustrativa, por ejemplo, esencialmente a través del sobre-oscilador positivo 31 así como el sobre-oscilador negativo 32 en la figura 2. La frecuencia propia definida a través de estos sobre-osciladores 31, 32 puede estar, por ejemplo, en el orden de magnitud de 200 kHz, en cambio la frecuencia de exploración era, como se ha mencionado. 40 MHz – en los ensayos realizados –.

La medición se puede realizar en sí durante una parada de la máquina 2, lo mismo que durante un arranque de la máquina, pero también se puede realizar durante el funcionamiento de la máquina, cuando en el transcurso del control-PWM de la máquina 2, con los impulsos de tensión individuales aplicados, resultan procesos de estabilización respectivos cortos 31, 32 para la corriente del arrollamiento i o bien su derivación temporal di/dt .

En la figura 3 se ilustra una señal de medición 30 correspondiente para di/dt sobre el tiempo t , realizándose aquí a partir de un valor de partida discrecional, por ejemplo un valor 0, una conexión de la máquina a través de la aplicación de un salto positivo de la tensión, y resultando una sobre-oscilación más allá del estado estacionario y a alcanzar. La primera sobre-oscilación (sobre-oscilador 31) está designada con Δh .

Después de una sobre-oscilación en la zona negativa (sobre-oscilador 32), se lleva a cabo de nuevo una sobre-oscilación ligera en la zona positiva, en 33, con lo que resulta un periodo ΔT como variable inversa para la frecuencia propia. En el ejemplo mostrado, ΔT es, por ejemplo, aproximadamente 3,5 μs , lo que significa una frecuencia propia de 286 kHz.

Por lo tanto, esta frecuencia propia se puede detectar de manera sencilla a partir de la curva de la señal di/dt mostrada en la figura 3 sobre el tiempo t , obtenida por medio de un sensor de Rogowski y después de la exploración (ver la figura 2A), es decir, que se puede calcular en los componentes de cálculo 18, 19, 20.

De manera similar se aplica para la sobre-oscilación Δh como valor entre la primera amplitud durante la estabilización sobre el estado y.. estabilizado (definitivo).

Por último, también se puede medir el estado estabilizado y.., es decir, el valor estacionario y.. obtenido definitivamente, aparte de que este valor se conoce desde el principio para una máquina 2 intacta, para la tensión en forma de fases aplicada en cada caso o, en cambio, cuando solamente se presupone un tiempo de medición corto, se puede obtener a través de promedio de la señal de medición.

Antes de describir ahora con más detalle los procesos de evaluación individuales, debe hacerse referencia de nuevo a la figura 4 como ejemplo alternativo para una señal de medición 30', en la que la corriente i – real -, que ha sido detectada por un sensor 6, 7, 8, está registrada sobre el tiempo t , de modo que se ilustran de la misma manera los periodos ΔT como inverso de la frecuencia propia para el proceso de estabilización así como el sobre-oscilador Δh . También aquí se seleccionan de nuevo unidades discretionales ("a. u.") para la amplitudes. Además, en la figura 4 se muestra en la señal de medición 30' con línea de trazos 34, con gradiente positivo, una recta media, cuya derivada temporal ilustra el estado estacionario.

A continuación, antes de hacer referencia a resultados de ensayo concretos con la ayuda de las figuras 5 y siguientes, se describe brevemente el cálculo de variables características, como frecuencia propia, sobre-oscilación y estado estacionario.

La frecuencia propia ($1/\Delta T$) de la respuesta del sistema transitorio, como existe en la señal de la corriente $i(t)$ o en la señal de la derivada temporal de la corriente di/dt , se puede calcular aplicando diferentes algoritmos conocidos en sí. Una vía sencilla y muy efectiva, en particular con respecto a un cálculo en tiempo real, es la determinación de los valores extremos de los procesos de estabilización, que se pueden reconocer en la señal de medición 30 o bien 30'. Esto se puede realizar, como se ha mencionado, de manera conocida en sí, por ejemplo con algoritmos rápidos y robustos y conduce a un cálculo directo de la frecuencia propia.

Otra vía de cálculo un poco más elegante y exacta es la del cálculo de las frecuencias inherentes a través de la aplicación de una transformación rápida de Fourier (FFT – Fast Fourier Transformation).

Una selección exacta de los parámetros para la función de ventana respectiva tiene también aquí importancia; la

ventana de observación se coloca de manera conveniente hasta un estado estabilizado, pero puede ser también más corto, para tener que procesar menos datos. Por ejemplo, se puede seleccionar la ventana sólo insignificamente mayor que ΔT .

5 En la figura 3 y en la figura 4 se indica, como se ha mencionado, el valor recíproco de la frecuencia propia (f_0) como ΔT para ambos sensores (sensor-CDI en la figura 3 y sensor de corriente de valor absoluto en la figura 4).

10 Los mismos procedimientos, que se han aplicado para el cálculo de la frecuencia propia $f_0 = 1/\Delta T$ durante la determinación de los valores extremos del curva de valores transitorios de la corriente o de la derivada temporal di/dt de la corriente con la ayuda de algoritmos sencillos rápidos, se pueden aplicar para el cálculo de valores de sobre-oscilación de la señal. Cuando se considera la curva de la señal de la figura 3 (derivada temporal de la corriente di/dt), entonces la diferencia entre el primer valor extremo y el estado estabilizado representa el primer sobre-oscilador 31. En la figura 3, el valor para el primer sobre-oscilador positivo se marca con Δh (en el caso de la utilización de sensores-CDI). Cuando se emplean sensores estándar, que miden el valor absoluto de la corriente sobre el tiempo, ver la figura 4, entonces se muestra claramente que oscilación decreciente de las curvas de las señales transitorias sigue una curva casi recta. Por lo tanto, no se alcanza un estado estacionario de la señal durante la aplicación de fases de la tensión en el intervalo de tiempo considerado a tal fin de algunos microsegundos. Durante una conexión activa, la corriente sube en este tiempo, en esta ventana de tiempo, de forma continua, ver la señal 34, y solamente la derivada temporal de la corriente alcanza un valor estacionario. El valor máximo durante el proceso de estabilización de la conexión en la señal de la corriente con respecto al último valor de la corriente antes de la modificación del estado de conmutación se puede considerar como primera sobre-oscilación positiva Δh (figura 4).

20 Cuando se aplica el salto de la tensión durante un tiempo suficientemente largo, a saber, tan largo que se alcanza el estado estacionario de la derivada temporal de la corriente, se puede determinar evidentemente fácilmente el valor y.. del estado estacionario de la señal. En el caso de sensores para la derivada temporal de la corriente (sensores de Rogowski), el valor del estado estacionario es el último valor medido cuando se aplica una fase constante de la tensión. Esto podría realizarse también sin convertidor-A/D de alta frecuencia, directamente, pudiendo elevarse la exactitud de la señal cuando el valor del estado estacionario es detectado a través del promedio sobre varios de los últimos valores de medición de este tipo.

25 Cuando se utilizan sensores, que miden directamente la corriente, el valor de interés es el estado estacionario de la inclinación de la curva de la corriente, ver la parte de la curva 34 en la figura 4. Aquí se puede continuar el cálculo de tal manera que se toman al menos dos valores de la corriente, siendo la diferencia de tiempo entre los dos valores de la corriente suficientemente grande para posibilitar una determinación exacta de la derivada temporal de la corriente, es decir, el gradiente de las rectas 34 en la figura 4.

Una ventaja de convertidores-A/D 9, 10, 11 sobreexplorados reside también en la posibilidad de la utilización de técnicas de promedio, con lo que se puede elevar la exactitud de la detección.

35 En el caso de un aislamiento perjudicial no se modifica el valor de estado estacionario en comparación con los valores en la máquina intacta. No obstante, tan pronto como aparece un cortocircuito en el arrollamiento, es decir, un cortocircuito de un arrollamiento a otro arrollamiento, las mediciones muestran que el valor el estado estacionario se modifica esencialmente, aunque sólo se cortocircuite un arrollamiento en una fase individual.

40 De acuerdo con ello, el cálculo del valor y.. del estado estacionario es adecuado especialmente para el cálculo de un fallo ya existente en el aislamiento.

45 Se llevaron a cabo ensayos prácticos en una máquina de inducción de rotor de cortocircuito de 5,5 kW, siendo accesibles tomas de diferentes arrollamientos de los tres arrollamientos de la máquina. A través de la conexión de tales tomas con una conexión correspondiente de la máquina es posible cortocircuitar un número alto diferente de arrollamientos para simular un fallo del aislamiento entre-espigas del estator que no conduce todavía a la destrucción. Cuando ahora en lugar de una conexión directa se introduce una capacidad adicional, una capacidad de error C_F , entre conexiones correspondientes, se simula un aislamiento deteriorado de una espira a otra. Tal modo de proceder se ilustra de forma esquemática en la figura 5, donde se muestran tres abollamientos 35, 36, 37, que corresponden a las fases U, V, W. Con líneas de trazos se ilustran, por una parte, las capacidades entre las fases individuales, C_{ph-ph} , y, por otra parte, las capacidades entre las fases individuales y masa, C_{ph-gnd} . Además, con línea de puntos se representa de forma esquemática una capacidad C_{t-t} como capacidad normal entre dos espigas sucesivas.

50 Adicionalmente, se representan ahora dos capacidades de fallo C_F , C_F' , por una parte una capacidad de fallo C_F entre una primera toma 38 del arrollamiento 35 y la conexión de fases U y, por otra parte, una capacidad de fallo C_F' entre la punta de la estrella 39 y la conexión de fases U. La capacidad adicional C_F o bien C_F' paralelamente a la capacidad del arrollamiento, por ejemplo C_{t-t} , eleva la capacidad (de fallo) en virtud del aislamiento del arrollamiento. Un gradiente correspondiente de la capacidad se puede constatar en el caso de un deterioro de las propiedades

dieléctricas del aislamiento. Durante el ensayo se determinaron , además, para la identificación más próxima de las propiedades del sistema de aislamiento de la máquina de inducción las capacidades de fases-fases C_{ph-ph} con 500 pF y la capacidad de fase-masa C_{ph-gnd} con 1 nF.

5 En los ensayos se realizó la sobreexploración con una frecuencia de 40 MHz, con la ayuda de convertidores-A/D de 16 bits. La comunicación con un componente-FPGA 27 se realiza a través de memoria tampón de datos 26 (figura 1A).

En los primeros ensayos, ver la figura 5, se insertó una capacidad de fallo C_F entre la primera toma 38 del arrollamiento-U 35 y la conexión de fases.

10 En la figura 6 se ilustra la curva de la señal obtenida de forma correspondiente, medida con un sensor de Rogowski para la derivada temporal de la corriente di/dt , con la curva 41, siendo ilustrada una curva de referencia 40 para la curva de la señal igualmente en la máquina intacta. Como se muestra claramente, resultan diferentes curvas de la señal para las dos curvas 40 (referencia) y 41 (con capacidad de fallo C_F). La capacidad de fallo era en este caso de forma ejemplar $C_F = 66$ nF.

15 A partir de la curva de la señal de la figura 6 resulta, además, que – como se espera – la modificación en la capacidad del arrollamiento no se puede detectar sobre la base de los valores de la señal de medición en el estado estacionario, puesto que las dos curvas de la señal en el estado estabilizado suministran valores idénticos. No obstante, a partir de la figura 6 se puede reconocer una diferencia clara con respecto a sobre-oscilaciones y frecuencia propia. Esta diferencia solamente es reconocible cuando el indicador de la tensión del estado de conmutación activo en el eje de las fases muestra la fase “deteriorada” U (en este ejemplo). Hay que mencionar también que los procesos de estabilización de la conexión – como se ha mostrado – solamente muestran variaciones estadísticas muy reducidas. Cada curva de una señal mostrada en las presentes figura corresponde a un valor medio obtenido a base de 240 mediciones.

20 Para la comparación se representa en la figura 7 una curva de la señal – señal de referencia 40' y curva de la señal de medición 41' – para el caso de que se realice un proceso de conmutación con la ayuda del inversor 4' desde un estado negativo en la zona positiva hasta un estado activo en la zona negativa (por ejemplo, desde aproximadamente +1 hasta aproximadamente -2). De manera correspondiente, en la figura 6 se ilustra la curva de la señal 40, 41 durante un proceso de conmutación del inversor 4' desde un estado inactivo 0 a un estado activo (valor estacionario aproximadamente +1).

30 También en el caso de la figuras 7 se ha conectado una capacidad de fallo $C_F = 66$ nF entre la primera toma 38 del arrollamiento 35 y la conexión de fases U. También aquí se pueden reconocer, por una parte, la sobre-oscilación (en primer lugar negativa y luego positiva) de la curva de la señal 41' en comparación con la señal de referencia 40', lo mismo que la modificación de la frecuencia propia con respecto a un desplazamiento del intervalo de tiempo ΔT .

35 En otro ensayo se realizaron mediciones comparables, por una parte, con una capacidad de fallo C_F insertada entre una toma en el centro del arrollamiento de la fase U (50 % cortocircuito) o bien entre la punta de la estrella 39 y la conexión de las fases (capacidad de fallo C_F' , que corresponde a 100 % cortocircuito), siendo las capacidades de fallo en cada caso un 1 nF. A partir de las curvas de las señales correspondientes en la figura 8, de nuevo medidas con sensores de Rogowski (sensores di/dt) y obtenidas después de sobreexploración con 40 MHz, se pueden reconocer claramente las diferencias entre la señal de referencia 50 y la señal 51 con un cortocircuito del 51 % (capacidad de fallo C_F), por una parte, así como la señal 52 con un cortocircuito del 100 %, capacidad de fallo C_F' .
40 Como se muestra claramente también en este caso, en las curvas representadas se puede constatar, bajo detección de las modificaciones, la frecuencia propia aproximadamente después del primer periodo del proceso de estabilización.

45 Para investigar la fiabilidad de los procesos de estabilización de la conexión registrados, se investigaron las propiedades estadísticas de las señales de los sensores. En este caso, se realizaron en cada disposición, como se ha mencionado, 240 mediciones en la máquina o bien arrollamiento, y se compararon el resultado y los parámetros de la señales, respectivamente.

50 En correspondencia con la curvas de las señales en la figura 8 se ilustra en la figura 8A (con respecto a la amplitud de la sobre-oscilación) y la figura 9B (con respecto a la frecuencia o bien la frecuencia propia) de forma esquemática una densidad de la probabilidad normalizada de las propiedades de las señale, como se obtienen a partir de los procesos de estabilización rápida obtenidos, como se ha explicado. La amplitud de la sobre-oscilación (Δh en la figura 3) se muestra para la referencia en aproximadamente 4,3 (sobre-oscilador 50A), el primer sobre-oscilador 51A para la señal 51 se representa en la figura 9A con una amplitud de sobre-oscilación de aproximadamente más de 5 y el primer sobre-oscilador 52A en la señal 52 se representa en la figura 9A con una amplitud de la sobre-oscilación de aproximadamente 5,8.

55 Por lo que se refiere a la frecuencia propia, se ilustran valores correspondientes de la frecuencia 50B, 51B, 52B en la figura 9B con aproximadamente 0,27 MHz para la frecuencia propia en la curva de referencia 50, con

aproximadamente 0,38 MHz para la curva de la señal 51 con cortocircuito de 50 %, y para el cortocircuito del 100 % señal 52 en la figura 8, con un valor aproximado de 0,33 MHz (en 52B).

5 En los ensayos no se aplicaron algoritmos complicados, sino métodos matemáticos sencillos para la determinación de sobre-oscilaciones y frecuencia propia como variables características. Como se deduce a partir de las figuras 9A y 9B, las variables características calculada tienen una varianza reducida, lo que posibilita una detección fiable y rápida incluso de modificaciones mínimas en la capacidad del arrollamiento.

10 Como se ha mencionado, para la supervisión del estado actual del arrollamiento en una operación en-línea, es conveniente calcular las variables características de las señales en una máquina 2 intacta, en una máquina que funciona correctamente, por ejemplo en una fase de mantenimiento. No obstante, entonces hay que procurar que no se introduzcan modificaciones en los valores de la resistencia, ni en los valores de la inductividad así como en los valores de la capacidad, como por ejemplo en virtud de modificaciones en el cableado.

15 También es posible calcular durante las mediciones la constante de amortiguación de la oscilación propia transitoria – adicionalmente o en lugar de la frecuencia propia $1/\Delta T$ – como variable característica. En este caso, por ejemplo, se puede proceder de tal forma que a partir del tamaño y el instante de los sobre-osciladores y los sub-osciladores individuales se aproxima el comportamiento de atenuación de la oscilación propia transitoria por medio de funciones exponenciales sencillas.

20

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Procedimiento para la detección de un aislamiento en una máquina eléctrica (2) durante el funcionamiento de la máquina (2), en el que se aplica una tensión en el (los) arrollamiento(s) (3) de la máquina (2) y se sobreexplora un proceso de estabilización provocado de esta manera con una frecuencia alta en comparación con las frecuencias características para una estabilización, **caracterizado** porque para la detección de un deterioro del estado del aislamiento con la ayuda de un inversor (4') se aplica una tensión en forma de fases en el (los) arrollamiento(s) (3) de la máquina (2) y la corriente (i) provocada de esta manera y/o su derivación temporal (di/dt) es detectada como señal de medición con la ayuda de al menos un sensor (6, 7, 8), que es sobreexplorado, después de lo cual se evalúa la señal obtenida a través de la sobreexploración con respecto a variables características del proceso de estabilización, como sobre-oscilación (Δh) y/o frecuencia propia ($1/\Delta T$) y/o constante de amortiguación, para la detección de un eventual deterioro del aislamiento.
- 15 2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque las variables características obtenida a través de la evaluación son comparadas con variables características correspondientes, que han sido obtenidas en un proceso de medición anterior con la máquina funcionando correctamente.
- 3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque las variables características obtenidas son comparadas con valores umbrales predeterminados, de manera que en el caso de que se excedan, se deduce un estado de fallo.
- 20 4.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque la frecuencia propia ($1/\Delta T$) se calcula a través de la determinación del intervalo de tiempo entre valores extremos sobreexplorados sucesivos de la señal de medición.
- 5.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque la sobre-oscilación (Δh) se calcula como diferencia entre un valor en el estado estabilizado y un valor extremo, dado el caso el primer valor, en la señal.
- 25 6.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque como variable característica para la detección de fallos reales del aislamiento se utiliza el estado estabilizado (y..) de la señal.
- 7.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado** porque el valor (y..) de la señal en el estado estabilizado en el caso de la detección de la derivación temporal de la corriente provocada se calcula como el último valor medido cuando se aplica una tensión constante.
- 30 8.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado** porque el valor (y..) de la señal en el estado estabilizado en el caso de la detección directa de la corriente provocada se calcula sobre dos valores de exploración espaciados y el gradiente definido a través de éstos.
- 9.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque se realizan varios procesos de medición con la aplicación de una tensión en forma de fases y se lleva a cabo una evaluación estadística de los resultados obtenidos.
- 35 10.- Dispositivo para la detección de un aislamiento en una máquina eléctrica (2) durante el funcionamiento de la máquina (2), en el que a la máquina eléctrica (2) están asociados un circuito de alimentación (4) así como al menos un sensor (6, 7, 8) en una línea de corriente (4A, 4B, 4C) para la máquina (2), y en el que están previstos medios (4') para la aplicación de una tensión al (los) arrollamiento(s) (3) de la máquina así como una instalación de sobreexploración (12) para la sobreexploración de una señal de medición obtenida con la ayuda del sensor (6, 7, 8) con una frecuencia comparativamente alta con relación a procesos de estabilización, que se activan cuando se aplica la tensión, **caracterizado** porque el circuito de alimentación (4) contiene un inversor (4'), que contiene al mismo tiempo los medios (4') para la aplicación de una tensión, en el que el inversor (4') aplica para la detección de un eventual deterioro del aislamiento una tensión en forma de fases al (los) arrollamiento(s) de la máquina (2), porque el sensor (6, 7, 8) detecta cuando se aplica la tensión en forma de fases la corriente (1) provocada en un arrollamiento (3) de la máquina o su derivación temporal (di/dt) como señal de medición, que es sobreexplorada, y porque los valores de exploración obtenidos son alimentados a una unidad de cálculo (16) para la determinación de variables características del proceso de estabilización cuando se aplica la tensión en forma de fases, como sobre-oscilación (Δh) y/o frecuencia propia ($1/\Delta T$) y/o constante de amortiguación, para la detección de un eventual deterioro del aislamiento.
- 40 45 50 11.- Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado** por al menos una unidad de comparación (21, 22) para la comparación de las variables características obtenidas con variables características registradas correspondientes de la máquina durante el funcionamiento correcto y/o con un valor umbral predeterminado.
- 55 12.- Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado** porque en la unidad de comparación (21, 22) está conectada una unidad de evaluación (24) para la detección e identificación de deterioros del aislamiento y, dado

el caso, de fallos del aislamiento.

- 5 13.- Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 12, **caracterizado** por un circuito de ventana (13, 14, 15) entre la instalación de sobreexploración (12) y la unidad de cálculo (16) propiamente dicha, en el que el circuito de ventana (13, 14, 15) está conectado con una entrada de control en una unidad de control (17) que controla el inversor y establece una ventana de observación predeterminada, comenzando con una señal de control de la unidad de control (17), a la que se alimentan los valores de exploración del procesamiento siguiente.
- 14.- Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 13, **caracterizado** porque la unidad de cálculo (16) está realizada con un campo de enlace (FPGA) (27) libremente programable.
- 10 15.- Dispositivo de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 14, **caracterizado** porque la unidad de cálculo (16) presenta un procesador de señales digitales (DSP) (28).

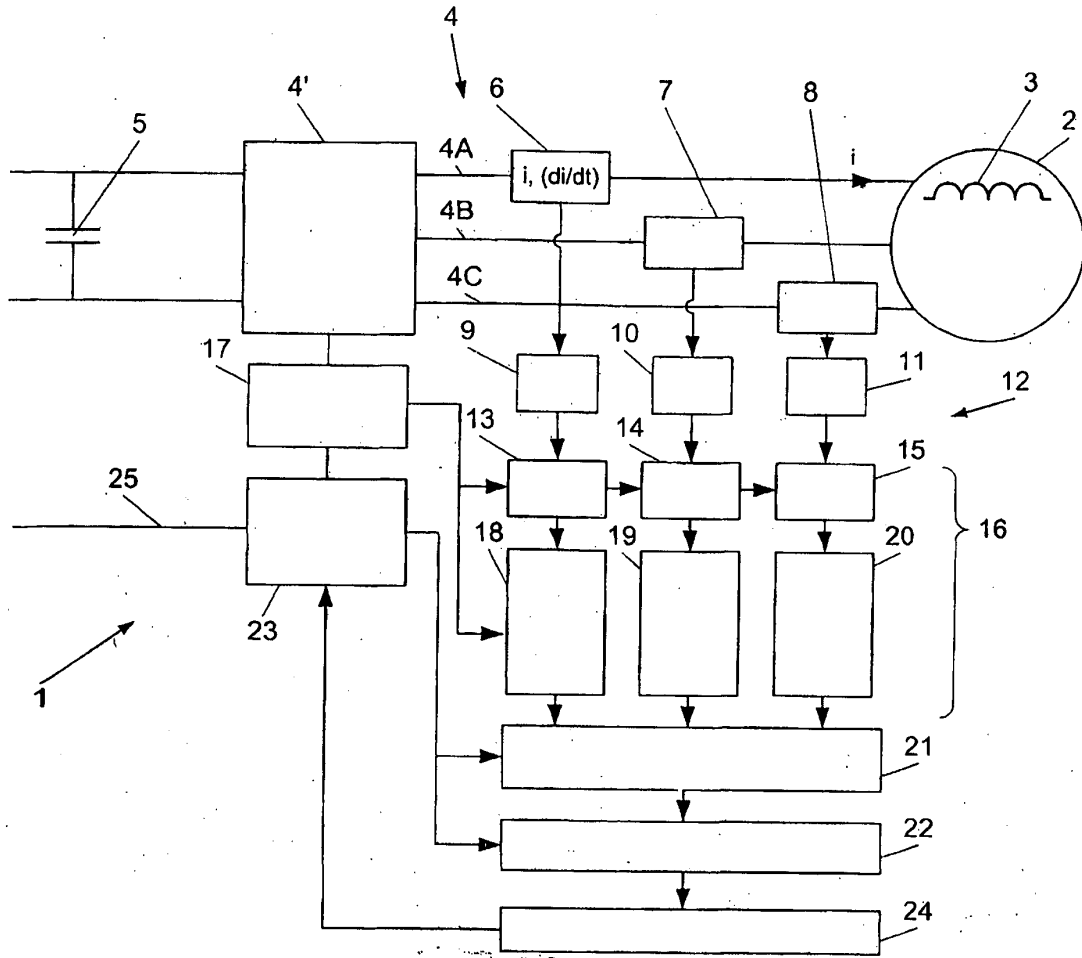


Fig. 1

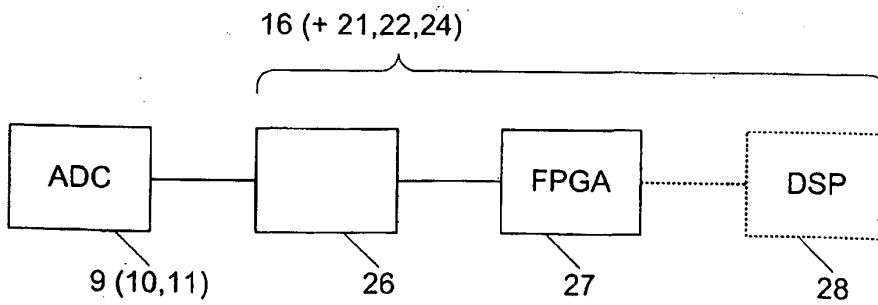


Fig. 1A

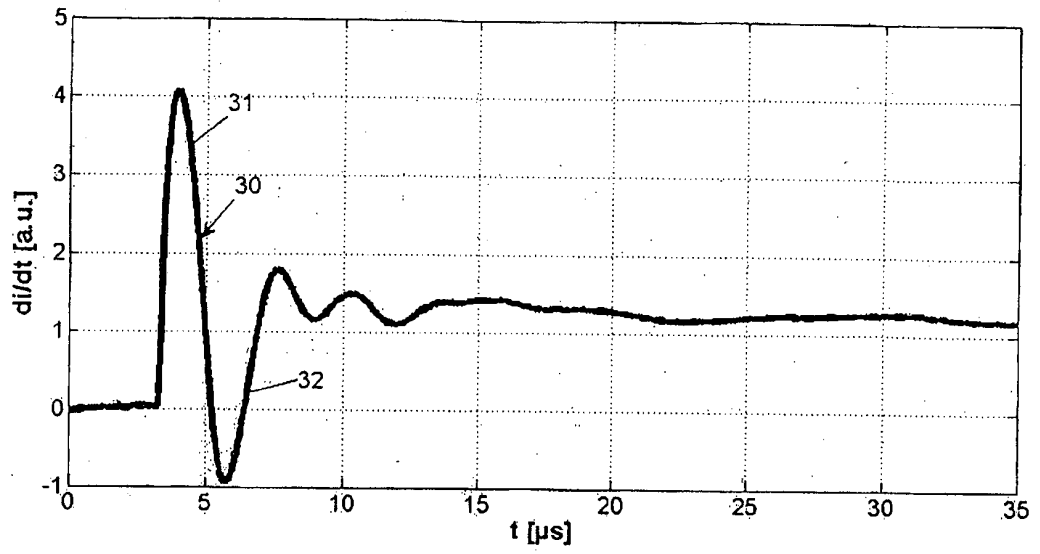


Fig. 2

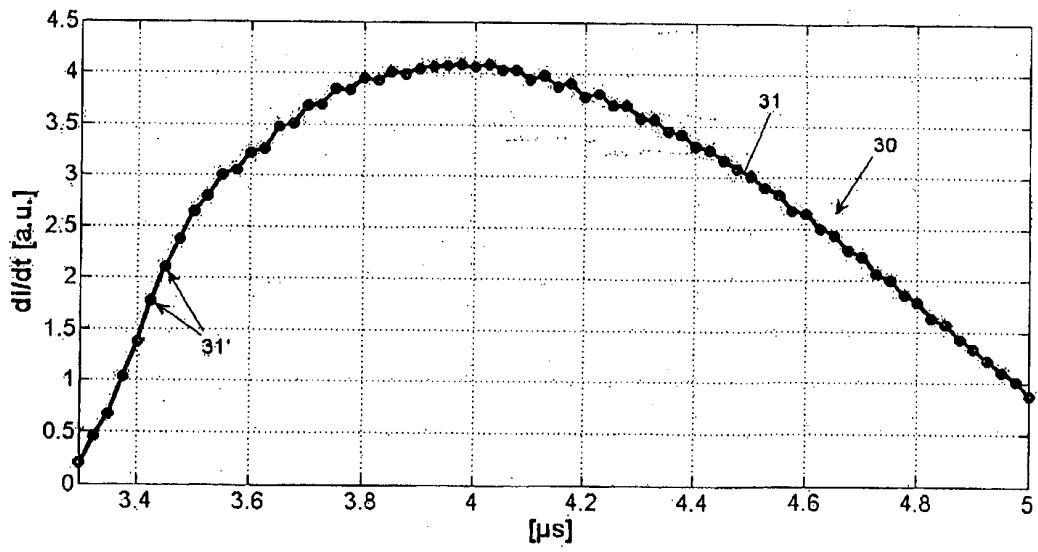


Fig. 2A

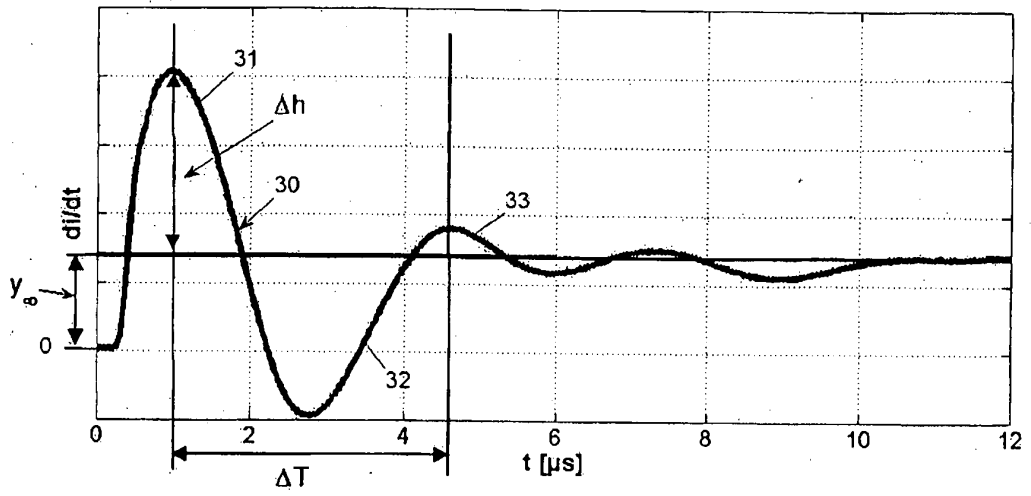


Fig. 3

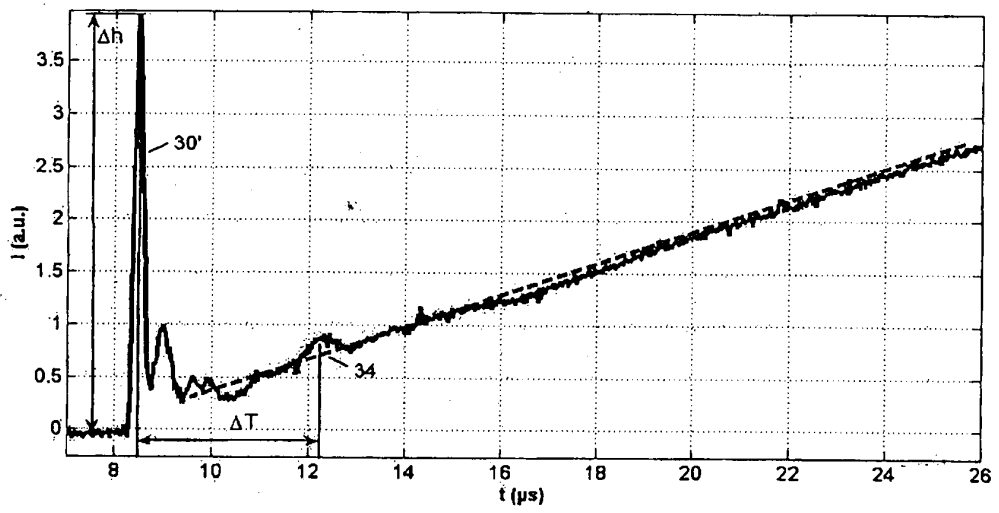


Fig. 4

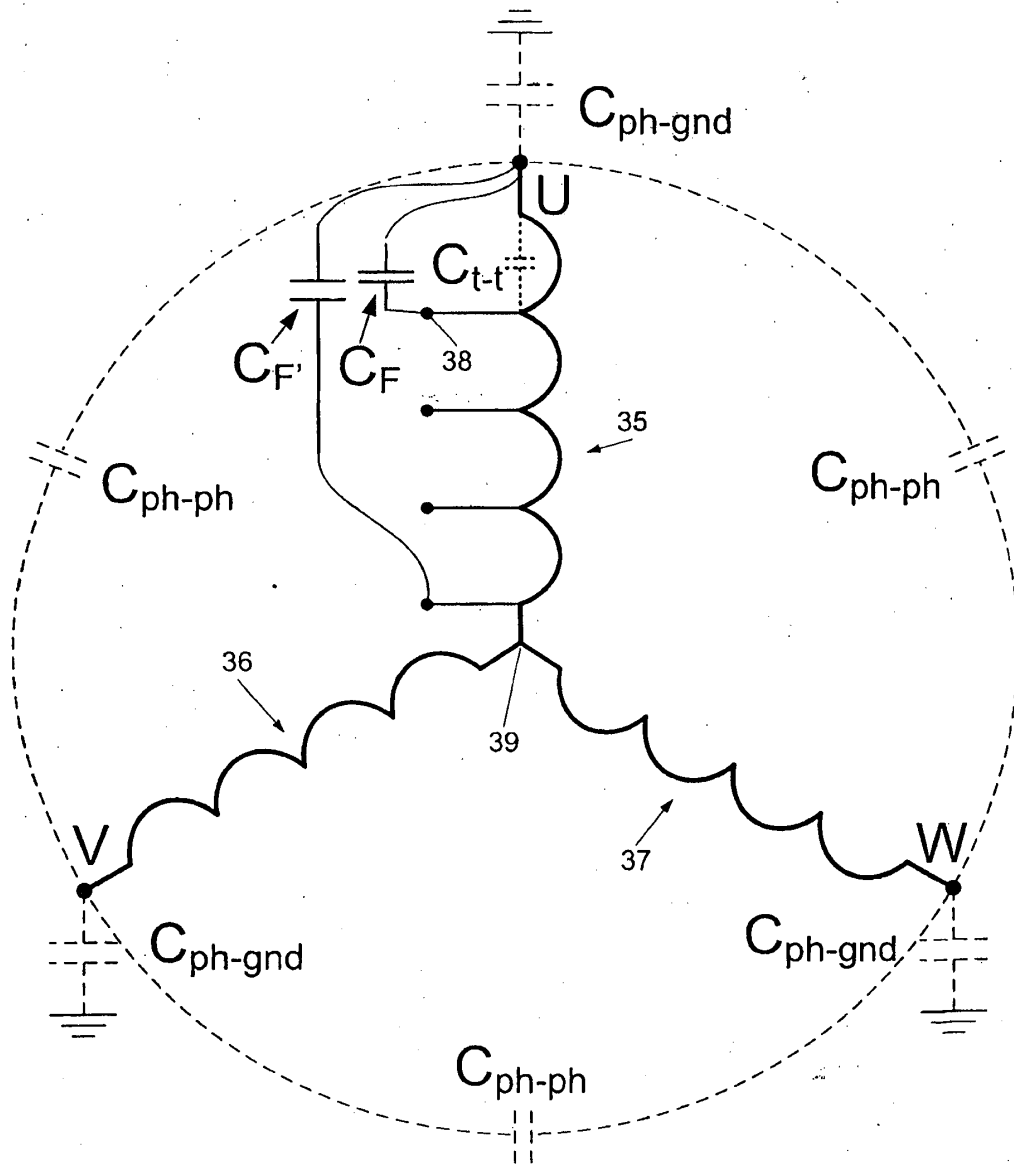


Fig. 5

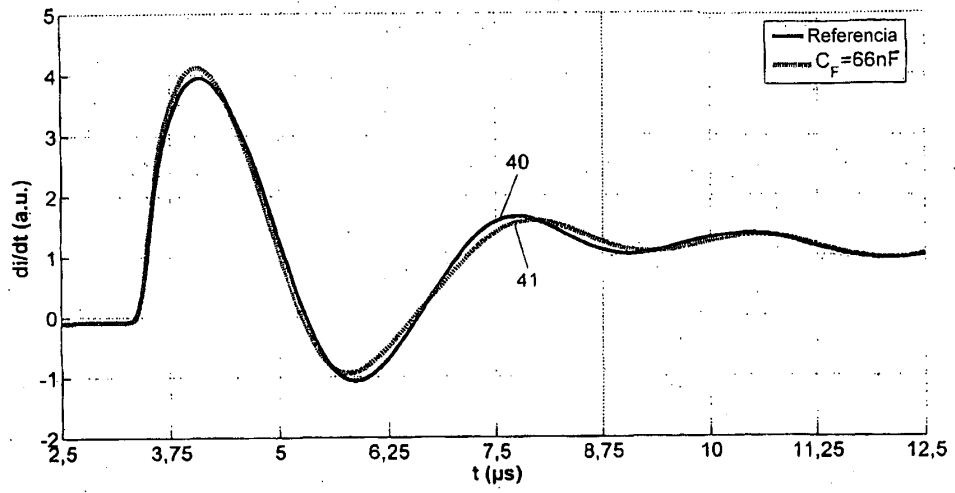


Fig. 6

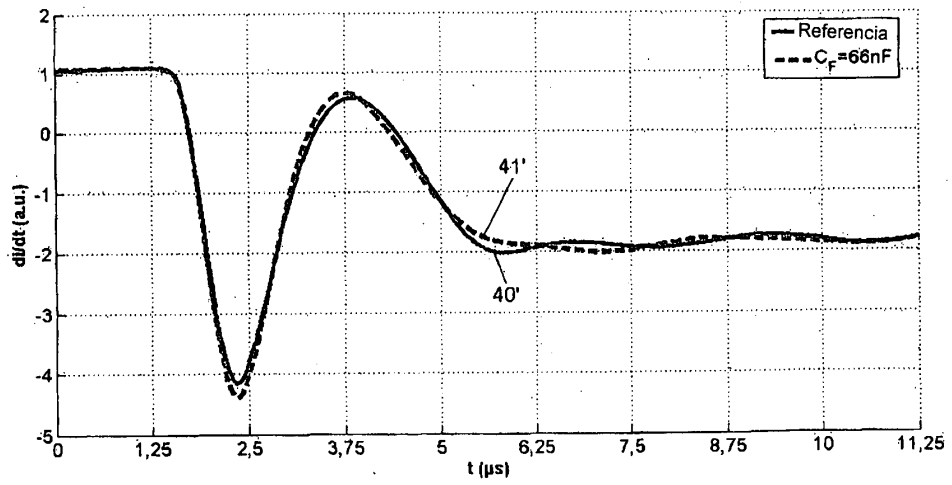


Fig. 7

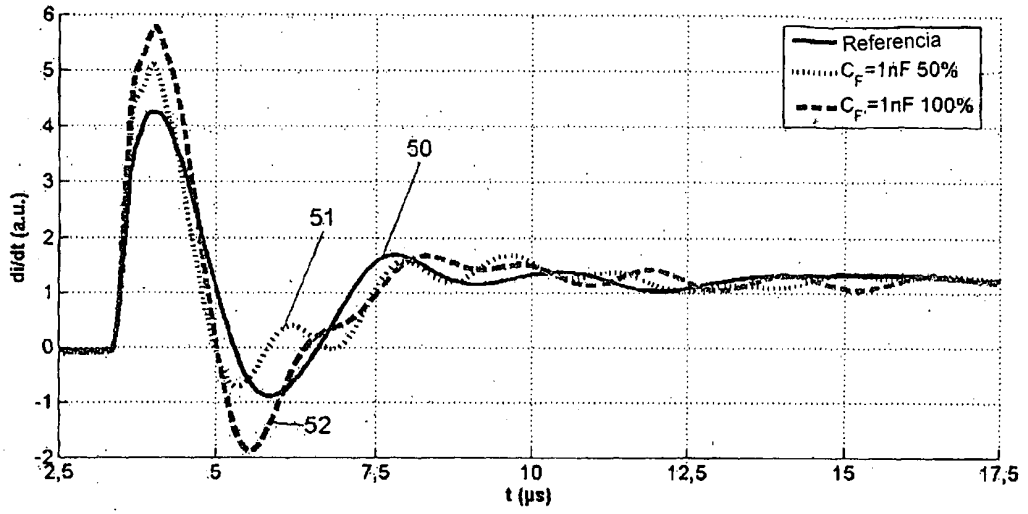


Fig. 8

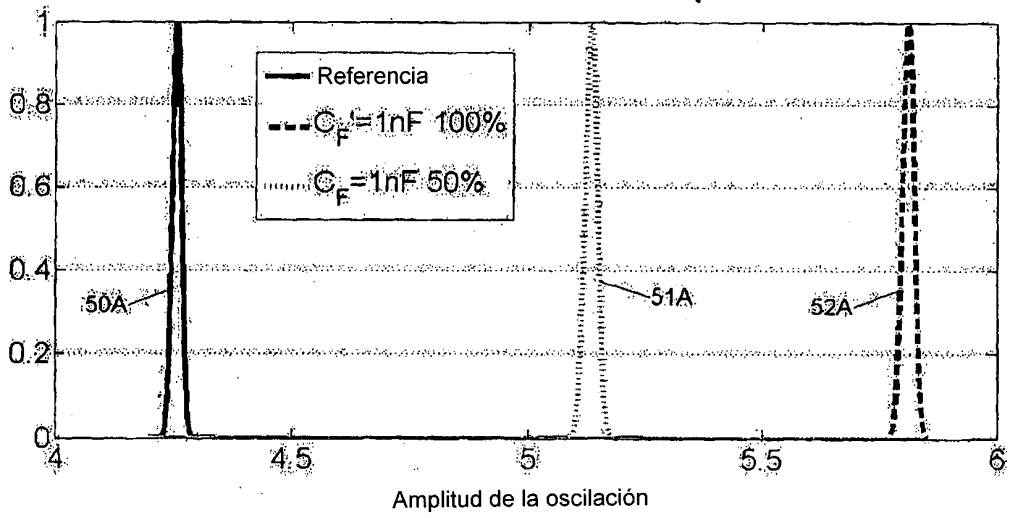


Fig. 9A

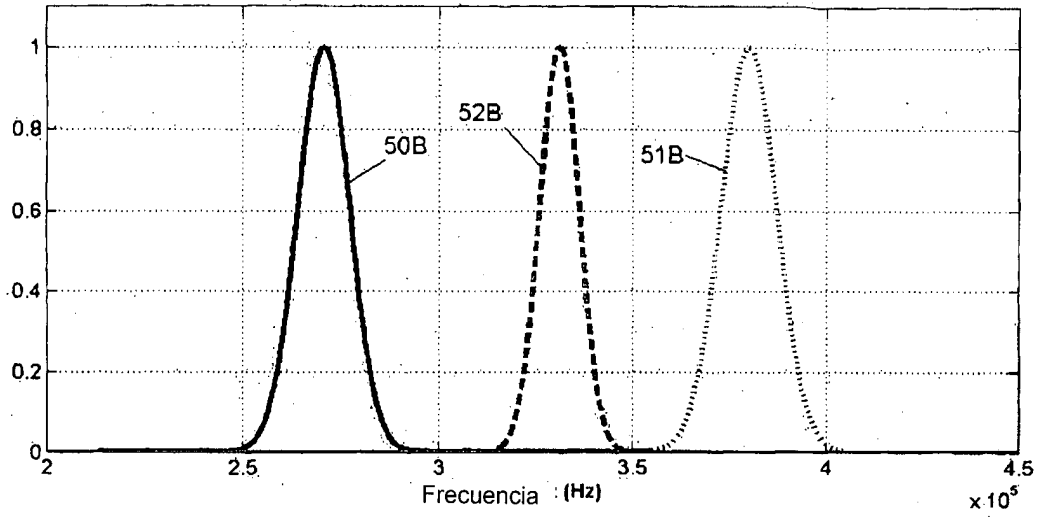


Fig. 9B