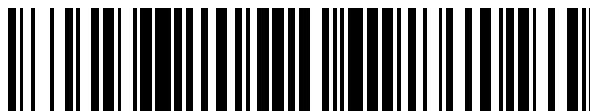


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 848 598**

21 Número de solicitud: 202031319

51 Int. Cl.:

**G01R 31/72** (2010.01)

**G01R 31/52** (2010.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

**30.12.2020**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**10.08.2021**

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

**04.11.2021**

Fecha de concesión:

**14.02.2022**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**21.02.2022**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
(100.0%)**

**Avda. Ramiro de Maeztu, nº 7  
28040 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**GUERRERO GRANADOS, José Manuel;  
MARTÍN SANTOS, Carolina y  
PLATERO GAONA, Carlos Antonio**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

54 Título: **SISTEMA Y MÉTODO DE LOCALIZACIÓN DE FALTAS A TIERRA EN DEVANADOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS**

57 Resumen:

Sistema y método de localización de faltas a tierra en devanados de máquinas eléctricas.

Método y sistema de localización de faltas a tierra (4) en devanados (3) de máquinas eléctricas basados en el análisis de respuesta en frecuencia del circuito de la máquina, alimentando en bornes del devanado (3) a analizar, en un dispositivo (11) de localización de faltas que compara los parámetros de frecuencia de resonancia ( $f_R$ ) y ganancia del sistema a dicha frecuencia de resonancia ( $A_{fR}$ ) con una base de datos de superficies producidas de ensayos previos y que permite localizar el defecto en número de espira de falta (n) y resistencia de defecto ( $R_f$ ).

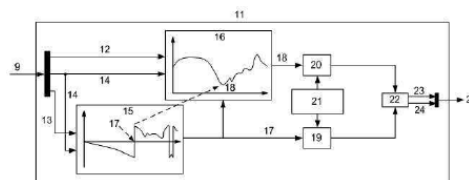


Fig. 2

ES 2 848 598 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.  
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

## DESCRIPCIÓN

### SISTEMA Y MÉTODO DE LOCALIZACIÓN DE FALTAS A TIERRA EN DEVANADOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

5

#### OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un método y sistema de localización de faltas a tierra en devanados de máquinas eléctricas capaz de localizar este tipo de falta estando en cualquier punto del circuito eléctrico, con este desconectado de la red eléctrica.

El método y sistema de localización de faltas a tierra en arrollamientos eléctricos según la presente invención es de utilidad para el mantenimiento, principalmente correctivo, de máquinas eléctricas pudiendo ser también de aplicación en el mantenimiento predictivo gracias a que dicho sistema permite la obtención de la resistencia de defecto de una posible falta en el sistema eléctrico, así como el número de espira donde se encuentra dicho defecto.

#### ANTECEDENTES DE LA INVENCION

A lo largo de la vida útil de las máquinas eléctricas uno de los fallos más comunes que puede experimentar dicha maquinaria es la aparición de faltas a tierra.

Estas faltas ponen en riesgo la integridad de las máquinas y pueden afectar directamente a una alteración en su funcionamiento o provocar daños severos en máquinas adyacentes o en la salud de trabajadores cercanos.

El campo del diagnóstico se encarga entonces de detectar y localizar estas faltas para evitar que aparezcan este tipo de defectos entre otros o en su defecto para proceder a una rápida protección del sistema eléctrico en cuestión.

Son muchos los sistemas que se encargan de detectar o localizar faltas a tierra en máquinas eléctricas, por ejemplo, los sistemas mostrados en los siguientes documentos:

35

La patente US 6794879 B2 titulada "*Apparatus and method for detecting and calculating ground fault resistance*" se refiere a una invención que diagnostica faltas en el devanado de campo de máquinas síncronas. Utiliza la inyección de onda cuadrada entre terminales de alimentación de la excitación, y dependiendo de la deformación de dicha onda cuadrada en el sensor emplazado aguas abajo se puede estimar la localización de la falta en el devanado inductor así como la resistencia de falta.

La patente US 10429419 B2 titulada "*System and method for iterative condition monitoring and fault diagnosis of electric machines*" se refiere a una invención que analiza la señal de corriente de las corrientes del estator y armónicos determinados con el objetivo de detectar posibles faltas como excentricidades en las máquinas.

La patente DE 102001003021 B4 titulada "*Methods and apparatus for diagnosing stator windings in an electric motor*" se refiere a un método y sistema para el diagnóstico de faltas en estatores de máquinas eléctricas que mediante la medida de corriente y tensión y su comparación en secuencia inversa con ciertas referencias preestablecidas es capaz de detectar faltas dichos devanados.

La patente ES 2454045 A1 titulada "*Sistema y método de localización de defectos a tierra en devanados estatóricos de máquinas síncronas puestas a tierra mediante una impedancia de elevado valor basado en la estimación de la resistencia de defecto a baja frecuencia*" se refiere a un sistema y método en el que se localizan faltas a tierra mediante la utilización de variables de una etapa de medida y la inyección de una onda de tensión de baja frecuencia entre el neutro de un generador síncrono y tierra.

Finalmente, la solicitud de patente P202030371 "*Sistema y método de localización de faltas a tierra en arrollamientos eléctricos*" utiliza la técnica de análisis de la respuesta en frecuencia para la localización de los defectos a tierra, sin embargo en este método hay que realizar dos ensayos al devanado, inyectando por ambos extremos.

Para localizar defectos y faltas en máquinas paradas u off-line, habitualmente se

utiliza la técnica de análisis de respuesta en frecuencia, o FRA, especialmente en transformadores en los que se pretende localizar faltas entre espiras, o el movimiento de los arrollamientos de dichos transformadores durante el transporte o tras sobrecorrientes.

5

Esta técnica comprende inyectar una onda de tensión sinusoidal con amplitud fija normalmente de 1 o 10 V con frecuencia variable entre 10 Hz y 20 MHz y el registro de la tensión de salida en el otro extremo del circuito a analizar en una resistencia de valor conocido. Mediante la obtención de la función de transferencia se obtienen los parámetros ganancia y fase de esta que se utilizan para los análisis de fallos.

10

Los ensayos FRA son –habitualmente– capaces de detectar la existencia de faltas a tierra. No obstante, es mucho menos frecuente que dichos ensayos permitan obtener la localización de las dichas faltas. A continuación se muestran varias formas de detectar defectos con esta técnica:

15

En el artículo “Y. Liu et al., "A study of the sweep frequency impedance method and its application in the detection of internal winding short circuit faults in power transformers," in *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 22, no. 4, pp. 2046-2056, August 2015” se divulga un método de análisis mediante la técnica FRA centrado en el análisis de su impedancia (SFI). Observando fluctuaciones en la amplitud de ganancia del sistema, este detecta y cuantifica posibles faltas entre espiras en transformadores, pero sin referirse a la localización de estas.

20

25

En el artículo “J. Nosratian Ahour, S. Seyedtabaai and G. B. Gharehpetian, "Determination and localisation of turn-to-turn fault in transformer winding using frequency response analysis," in *IET Science, Measurement & Technology*, vol. 12, no. 3, pp. 291-300, 5 2018.” La invención se refiere a un método para la detección y localización de faltas entre espiras con el mismo sistema FRA. Este método se basa en la comparación de patrones calculados mediante un modelo matemático y la ganancia FRA obtenida en el ensayo directo al transformador. A diferencia del método anterior, este es capaz de estimar la localización de la falta por secciones del devanado.

30

35

Otras técnicas de diagnóstico de faltas en sistemas con devanados están ligadas a la inteligencia artificial (IA) y al aprendizaje de la propia IA con el tiempo en el ajuste de modelos que después se utilizan para contrastar con los diagnósticos FRA recogidos de los equipos. En el artículo “V. Nurmanova, M. Bagheri, A. Zollanvari, K. Aliakhmet, Y. Akhmetov and G. B. Gharehpetian, "A New Transformer FRA Measurement Technique to Reach Smart Interpretation for Inter-Disk Faults," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 34, no. 4, pp. 1508-1519, Aug. 2019.” esta técnica se utiliza para sistemas con faltas entre espiras o entre discos de devanados para transformadores eléctricos.

Finalmente, en el artículo “A. Mugarra, C. A. Platero, J. A. Martínez and U. Albizuri-Txurruka, "Validity of Frequency Response Analysis (FRA) for Diagnosing Large Salient Poles of Synchronous Machines," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 56, no. 1, pp. 226-234, Jan.-Feb. 2020.” se trata el FRA para faltas entre espiras, así como para faltas a tierra. Sin embargo, no se procede a la localización de ningún tipo de ellas, pero si a su detección mediante la observación de la frecuencia de resonancia del sistema ensayado.

Viendo el estado de la técnica se concluye en que es necesario establecer nuevos sistemas y métodos de análisis FRA para la localización de faltas a tierra en máquinas eléctricas de tal forma que hagan de esta un proceso sencillo de ejecutar y fácil de interpretar. Además, sería ventajoso que dichos sistemas y métodos de localización de faltas a tierra de permitiesen obtener la localización (n) y la magnitud del defecto en valores óhmicos de resistencia de defecto ( $R_f$ ).

### **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención pretende abordar todas las desventajas e inconvenientes del estado de la técnica anterior. Para ello, la invención contempla un sistema y un método de localización de faltas a tierra en devanados de máquinas eléctricas basados en la técnica de análisis de respuesta en frecuencia del circuito de la máquina.

Más en articular, un primer objeto de la invención se refiere a un método de localización de faltas a tierra en devanados de máquinas eléctricas, del tipo

basado en análisis de respuesta en frecuencia, caracterizado porque comprende -al menos- las siguientes etapas:

- 5 a) inyectar señales eléctricas de frecuencia variable y amplitud constante por un borne del devanado en falta de la maquina eléctrica y medir en el borne contrario de dicho devanado -al menos- la ganancia, fase y frecuencia correspondiente;
- 10 b) calcular las funciones de transferencia de fase y ganancia en función de las medidas de ganancia, fase y frecuencia obtenidas en la etapa anterior;
- c) obtener la frecuencia de resonancia ( $f_R$ ) para el devanado en falta;
- d) obtener la ganancia  $A(f_R)$  correspondiente a la frecuencia de resonancia ( $f_R$ ) del devanado en falta;
- 15 e) obtener una curva de corte de frecuencia de resonancia a partir de una base de datos que comprende emulaciones de faltas a distintas resistencias de falta ( $R_f$ ) y en distintas espiras para un devanado tipo, siendo ( $n$ ) el número de espira en falta, determinando para ello la frecuencia de resonancia del devanado en falta mediante la casación de un plano paralelo a los ejes  $R_f$  y  $n$ , de tal forma que  $f_R = cte$ , obteniendo
- 20 una curva bidimensional -que depende exclusivamente de los parámetros  $R_f$  y  $n$ - producida por el corte entre dicho plano ( $f_R=cte$ ) y la curva de corte de frecuencia de resonancia -en tres dimensiones- de la base de datos;
- f) obtener una curva de corte de ganancia constante a partir de una base de datos que comprende valores de anteriores ensayos de faltas a distintas resistencias de falta y en distintas espiras para un devanado tipo, determinando para ello la ganancia para la frecuencia de resonancia del devanado en falta mediante la casación de un plano paralelo a los ejes  $R_f$  y  $n$  de tal forma que  $A(f_R) = cte$ , obteniendo una curva
- 25 bidimensional -que depende exclusivamente de los parámetros  $R_f$  y  $n$ , producida por el corte entre dicho plano ( $A(f_R)=cte$ ) y la curva de corte de ganancia constante -en tres dimensiones- de la base de datos;
- 30 g) determinar el número de espira en falta ( $n$ ) y la resistencia de defecto ( $R_f$ ) del devanado en falta de la maquina eléctrica como el punto de corte entre la curva de corte de frecuencia de resonancia y la curva de corte de ganancia constante; y
- 35

h) emitir la información de falta una vez recopiladas las señales de número de espira en falta y resistencia de falta a un dispositivo de monitoreo externo o relé de protección.

- 5 En una realización preferida de la invención, en la etapa c) arriba indicada, la frecuencia la frecuencia de resonancia  $f_R$  es el valor de frecuencia para el cual la respuesta en frecuencia de la fase del devanado es nula (en otras palabras, cuando el circuito eléctrico es puramente resistivo).
- 10 En una realización preferida de la invención, en la etapa e) arriba indicada, las emulaciones de faltas son funciones del tipo superficie espacial que dependen del número de espira en falta ( $n$ ), de la resistencia de defecto ( $R_f$ ) y de la frecuencia de resonancia ( $f_R$ ).
- 15 En una realización preferida de la invención, en la etapa f) arriba indicada, los valores de anteriores ensayos de faltas son funciones del tipo superficie espacial que dependen del número de espira en falta ( $n$ ), de la resistencia de defecto, ( $R_f$ ) y de la ganancia asignada a frecuencia de resonancia,  $A(f_R)$ .
- 20 Un segundo aspecto de la invención se refiere a un sistema de localización de faltas a tierra en devanados de máquinas eléctricas, del tipo basado en análisis de respuesta en frecuencia, provisto de:
- un dispositivo de inyección de tensión a frecuencia variable y amplitud constante entre un borne del devanado en falta y una referencia a tierra;
  - una impedancia de medida calibrada, conectada entre el otro borne del devanado en falta y una referencia a tierra;
  - un medidor de salida configurado para medir entre los bornes de la impedancia de medida calibrada, determinar la ganancia y fase del devanado en función de la frecuencia de inyección y enviar dicha información a un receptor;

caracterizado porque está provisto además de un dispositivo de localización de faltas a tierra que comprende -al menos- los siguientes elementos:

35

- un receptor, configurado para recibir las medidas de frecuencia, fase y ganancia obtenidas por el medidor de salida;
  - 5 - medios constructores de funciones de transferencia de fase y ganancia, configurados para calcular la función de transferencia de fase y ganancia a partir de las medidas de frecuencia, fase y ganancia del medidor de salida;
  - 10 - medios calculadores de la frecuencia de resonancia y ganancia, configurados para calcular la frecuencia de resonancia  $f_R$  y la ganancia a dicha frecuencia de resonancia  $A(f_R)$  del devanado en falta, a partir de las medidas de frecuencia, fase y ganancia del medidor de salida;
  - 15 - un dispositivo de almacenamiento de bases de datos de ensayos previos de faltas en un devanado tipo, en los que se han emulado faltas en distintas espiras y con distintas resistencias de falta, estando las bases de datos configuradas para proporcionar el número de espira (n) de la falta a tierra a partir de la frecuencia de resonancia y ganancia para dicha frecuencia de resonancia;
  - 20 - medios calculadores de curvas de corte, configurados para calcular una curva de corte de frecuencia de resonancia y una curva de corte de ganancia constante a partir de los valores de frecuencia de resonancia y ganancia del devanado ensayado incluidos en la base de datos;
  - 25 - un localizador de faltas, configurado para hallar el punto de corte de las curvas obtenidas por los medios calculadores de curvas, siendo dicho punto de corte una función del número de espira (n) de la falta y de la resistencia de falta ( $R_f$ ); y
  - un elemento emisor de información configurado para enviar el número de espira (n) de la falta y la resistencia de falta ( $R_f$ ), obtenidas por el localizador de faltas.
- 30 En una realización preferida de la invención, las bases de datos de ensayos previos de emulaciones de faltas en forma de funciones del tipo superficie espacial que dependen del número de espira en falta (n), de la resistencia de defecto ( $R_f$ ) y de la frecuencia de resonancia ( $f_R$ ).

35



## **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

A continuación, se describen de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención, que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención y se presentan como unos ejemplos no limitativos de ésta.

5

La figura 1 es un esquema de conexiones del sistema de análisis de respuesta en frecuencia (FRA) del devanado a ensayar y del sistema de localización de faltas a tierra;

10 La figura 2 es un diagrama de bloques del sistema de localización de faltas a tierra según la presente invención;

La figura 3 es una diagrama de flujo del método de localización de faltas de la invención; y

15

La figura 4 es una representación gráfica de las superficies y curvas que se utilizan para la localización de faltas a tierra en la presente invención.

## **REFERENCIAS NUMÉRICAS DE LAS FIGURAS**

20

(1) Borne de inyección de tensión.

(2) Borne de medida de tensión de salida;

(3) Devanado;

(4) Falta a tierra;

25 (5) Dispositivo de inyección de señales eléctricas a frecuencia variable y amplitud constante;

(6) Impedancia de medida;

(7) Medidor de salida;

(8) Referencia a tierra;

30 (9) Medidas recogidas;

(10) Equipo de ensayos de análisis de respuesta en frecuencia (FRA);

(11) Dispositivo de localización de faltas a tierra;

(12) Señal de ganancia del devanado;

(13) Señal de fase del devanado;

35 (14) Señal de frecuencia;

- (15) Respuesta en frecuencia de la fase del devanado;
- (16) Respuesta en frecuencia de la ganancia del devanado;
- (17) Frecuencia de resonancia;
- (18) Ganancia para la frecuencia de resonancia;
- 5 (19) Etapa de obtención de la curva de corte de frecuencia de resonancia a partir de una base de datos previamente almacenada para máquinas o devanados similares;
- (20) Etapa de obtención de la curva de corte de ganancia constante a partir de una base de datos previamente almacenada para máquinas o devanados
- 10 similares;
- (21) Base de datos;
- (21.a) Superficie de faltas para frecuencias de resonancia;
- (21.b) Superficie de faltas para ganancias a frecuencia de resonancia;
- (22) Casación de las curvas de corte de fase y ganancia;
- 15 (23) Señal de espira en falta;
- (24) Señal de resistencia de falta;
- (25) Etapa de emisión de información de falta;
- (26) Etapa de obtención de la frecuencia de resonancia;
- (27) Etapa de obtención de la ganancia a frecuencia de resonancia;
- 20 (28) Curva de corte a frecuencia de resonancia
- (29) Curva de corte ganancia constante;
- (30) Eje-Z en frecuencia;
- (31) Eje-Z en ganancia.

25 **DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS FIGURAS**

La presente invención se refiere a un sistema y método de localización de faltas a tierra en devanados de máquinas eléctricas capaz de localizar dichas faltas indicando el número de espira y resistencia de defecto entre dicha espira y tierra mediante el análisis de respuesta en frecuencia de un dispositivo FRA con un

30 barrido en frecuencias que es práctica habitual que esté entre 10 Hz y 20 MHz, lo que es considerado suficiente para la obtención de datos relevantes a la localización de faltas en devanados eléctricos.

En la figura 1 se puede observar el esquema de conexiones del equipo de

35 medida FRA (10), que permite la obtención de la función de transferencia del

devanado ensayado donde se quiere localizar una falta a tierra. Dichas conexiones se producen en un devanado (3) con una falta a tierra (4) a localizar. Este dispone de un borne de inyección de tensión (1) mediante un dispositivo de inyección de tensión a frecuencia variable y amplitud constante (5) y un borne de  
 5 medida de tensión de salida (2) conectada a una impedancia de medida (6) del equipo donde con un medidor de tensión de salida (7), conectado entre dicho borne (2) y la referencia a tierra (8) del equipo FRA (10), permite al menos la obtención de medidas (9) de ganancia y fase en función de la frecuencia de inyección. Dichas medidas son volcadas posteriormente a un dispositivo de  
 10 localización de faltas a tierra (11).

En la figura 2 se muestra el diagrama de bloques del dispositivo de localización de faltas a tierra (11). Primeramente, se recopilan las medidas recogidas (9) que han de ser al menos la señal de ganancia del devanado (12), la señal de fase del  
 15 devanado (13) y la señal de frecuencia (14). Mediante estos datos recogidos por el equipo de medida FRA (10) se procede a la construcción de las funciones de transferencia de respuesta en frecuencia de la fase del devanado (15) y de respuesta en frecuencia de la ganancia del devanado (16).

20 El sistema y método contemplan el cálculo (17) de la frecuencia de resonancia del devanado (3) obteniendo el valor de frecuencia para el cual la respuesta en frecuencia de la fase del devanado (15) es nula. Posteriormente, con dicho valor de frecuencia de resonancia,  $f_R$ , el sistema y método considera la utilización de dicho parámetro para la obtención (18) del valor de ganancia para la frecuencia  
 25 de resonancia (18) introduciendo dicho valor de  $f_R$  en la respuesta en frecuencia de la ganancia del devanado (16).

Una vez obtenidos ambos valores, la invención contempla la casación de dichos valores con una base de datos (21), que dispone de superficies construidas  
 30 mediante ensayos previos de laboratorio a devanados semejantes con faltas a tierra realizadas en diversos puntos con diversas resistencias de defecto, habiendo para ello construido funciones del tipo:

$$f_R = u(n, R_f)$$

$$A(f_R) = v(n, R_f)$$

Donde:

$n$ : número de espira en falta.

$R_f$ : resistencia de falta.

$f_R$ : frecuencia de resonancia.

5  $A(f_R)$ : es la ganancia del sistema a frecuencia de resonancia de la falta.

$u$  y  $v$  son funciones generalizadas que dependerán del devanado ensayado.

De esta forma que se disponen de dos superficies distintas: Una superficie para frecuencias de resonancia (17) proveniente de ensayos previos con faltas en distinta posición, es decir en distinto número de espira y resistencia de defecto, obtenido de la respuesta en frecuencia de la fase del devanado (15). Y la otra superficie para ganancias a dicha frecuencia de resonancia (18) proveniente de ensayos previos con faltas en distintas posiciones y resistencia de defecto obtenido de la respuesta en frecuencia de la ganancia del devanado (16).

10

15 Con la frecuencia de resonancia (17) y ganancia a dicha frecuencia de resonancia se procede a las etapas de obtención de la curva de corte de frecuencia de resonancia a partir de una base de datos (19) y obtención de la curva de corte de ganancia constante a partir de una base de datos (20) que proponen curvas de corte con expresiones:

$$u(n, R_f) = cte_1$$

$$v(n, R_f) = cte_2$$

20 Donde  $cte_1$  y  $cte_2$  son constantes y vienen definidos por el valor de frecuencia de resonancia (17) y su correspondiente ganancia del sistema, obtenidas en el ensayo para la localización de la falta a tierra del devanado (3).

En la resolución del problema de la localización, la presente invención contempla la casación de las curvas de corte de fase y ganancia (22) con las superficies anteriores de tal forma que dicha casación de ambas rectas define un punto de corte donde las coordenadas del punto en un plano con "ejes X-Y"  $\equiv$  "ejes  $R_f$ - $n$ " o viceversa son las soluciones al problema de diagnóstico de faltas a tierra.

25

30 Finalmente, el sistema y método de la invención permiten la emisión de información de una señal de espira en falta (23) y una señal de resistencia de falta (24) mediante una etapa de emisión de información de falta (25) a

dispositivos externos, pudiendo ser estos entre otros, equipos de monitoreo o protección eléctrica.

La figura 3 muestra el diagrama de flujo del método de la invención, donde se siguen los pasos anteriormente descritos. Primero se recopilan las señales de ganancia del devanado (12), de fase del devanado (13) y de frecuencia (14). Se proceden a construir las correspondientes funciones de transferencia de fase (15) y ganancia (16) y a partir de la primera se obtiene la frecuencia de resonancia para:

$$\arg[\vec{H}(j2\pi f_R)] = 0$$

Donde H es la función de transferencia compleja obtenida en el equipo de medida FRA (10).

Una vez obtenida la frecuencia de resonancia (17), se obtiene de la respuesta en frecuencia en ganancia (16) dicha ganancia (18) para el determinado valor de frecuencia de resonancia de tal forma que:

$$H(j2\pi f_R) = A(f_R)$$

Una vez obtenidas la frecuencia de resonancia (17) y su correspondiente ganancia (18) se cargan desde la base de datos (21) la superficie de faltas para frecuencias de resonancia (21.a) y la superficie de faltas para ganancias a frecuencia de resonancia (21.b) correspondiente a ensayos previos de un devanado semejante. Se procede entonces a la introducción de los parámetros obtenidos en dicha base de datos mediante la etapa de obtención de la curva de corte de frecuencia de resonancia a partir de una base de datos (19) y la etapa de obtención de la curva de corte de ganancia constante a partir de una base de datos (20) para obtener las líneas que posteriormente se cortarán en un plano 2D donde cuyos ejes serán la resistencia de defecto,  $R_f$ , y el número de espira en falta, n.

Introduciendo la curva de corte a frecuencia de resonancia (28) y curva de corte ganancia constante (29) en un plano 2D cuyos ejes serán la resistencia de defecto,  $R_f$ , y el número de espira en falta, n, se produce una casación de las curvas de corte (22) y se obtiene un punto de corte entre ellas donde la solución en resistencia de defecto (24) y numero de espira (23) en falta corresponde a la

severidad de la falta y localización de la misma respectivamente.

Finalmente, el método contempla la emisión de estos parámetros a otros dispositivos mediante una etapa de emisión de información de falta (25).

5

A modo de ejemplo representativo y no limitativo de la invención, la figura 4 muestra las superficies cargadas desde la base de datos para frecuencias de resonancia (21.a) y ganancia en dichas frecuencias de resonancia (21.b) en ejes tridimensionales. Los ejes de estas superficies son la resistencia de defecto (24) y el número de espiras (23), como ejes X e Y y el Eje-Z en frecuencia (30) y la resistencia de defecto (24) y el número de espiras (23) como ejes X e Y y el Eje-Z en ganancia (31) respectivamente. Finalmente, procediendo al corte de la superficie referente a frecuencias de resonancia (21.a) con la frecuencia de resonancia (17) de la falta y al corte de la superficie referente a las ganancias a frecuencia de resonancia (21.b) con su respectiva ganancia (18), se obtiene un plano bidimensional donde la casación de las curvas de corte previas (28 y 29) se cortan a su vez y permiten la obtención de la espira en falta,  $n$ , y la resistencia de defecto,  $R_f$ .

20 El sistema y método de la invención pretende abordar las desventajas e inconvenientes presentados en el estado de la técnica proponiendo una forma de localización de faltas a tierra en el que se especifica la espira de defecto y la resistencia de defecto en dicho punto de una forma sencilla y rápida.

**REIVINDICACIONES**

1.- Método de localización de faltas a tierra (4) en devanados (3) de máquinas eléctricas, del tipo basado en análisis de respuesta en frecuencia, caracterizado porque comprende -al menos- las siguientes etapas:

- 5                   - inyectar señales eléctricas de frecuencia variable y amplitud constante por un borne (1) del devanado (3) en falta de la máquina eléctrica y medir (9) en el borne contrario (2) de dicho devanado -al menos- la ganancia (12), fase (13) y frecuencia (14) correspondiente;
- 10                 - calcular las funciones de transferencia de fase (15) y ganancia (16) en función de las medidas (9) de ganancia (12), fase (13) y frecuencia (14) obtenidas en la etapa anterior;
- obtener (17) la frecuencia de resonancia ( $f_R$ ) para el devanado en falta;
- obtener (18) la ganancia  $A(f_R)$  correspondiente a la frecuencia de resonancia ( $f_R$ ) del devanado en falta;
- 15                 - obtener una curva de corte de frecuencia de resonancia (19) a partir de una base de datos que comprende emulaciones de faltas a distintas resistencias de falta ( $R_f$ ) y en distintas espiras para un devanado tipo, siendo (n) el número de espira en falta, determinando para ello la frecuencia de resonancia del devanado en falta mediante la casación de
- 20                 un plano paralelo a los ejes  $R_f$  y n, de tal forma que  $f_R = cte$ , obteniendo una curva bidimensional (21a) que depende exclusivamente de los parámetros  $R_f$  y n, producida por el corte entre dicho plano ( $f_R=cte$ ) y la curva de corte de frecuencia de resonancia -en tres dimensiones- de la base de datos;
- 25                 - obtener una curva de corte de ganancia constante (20) a partir de una base de datos que comprende valores de anteriores ensayos de faltas a distintas resistencias de falta y en distintas espiras para un devanado tipo, determinando para ello la ganancia para la frecuencia de resonancia del devanado en falta mediante la casación de un plano paralelo a los ejes
- 30                  $R_f$  y n de tal forma que  $A(f_R) = cte$  obteniendo una curva bidimensional (21b) que depende exclusivamente de los parámetros  $R_f$  y n, producida

por el corte entre dicho plano ( $A(f_R)=cte$ ) y la curva de corte de ganancia constante -en tres dimensiones- de la base de datos;

- determinar (23) el número de espira en falta (n) y (24) la resistencia de defecto ( $R_f$ ) del devanado en falta de la maquina eléctrica como el punto de corte entre la curva de corte de frecuencia de resonancia y la curva de corte de ganancia constante; y
  - emitir (25) la información de falta una vez recopiladas las señales de numero de espira en falta (n) y resistencia de falta ( $R_f$ ) a un dispositivo de monitoreo externo o relé de protección.
- 5
- 10 2.- Método de localización de faltas a tierra según la reivindicación 1, en el que en la etapa (17) arriba indicada, la frecuencia la frecuencia de resonancia ( $f_R$ ) es el valor de frecuencia para el cual la respuesta en frecuencia de la fase del devanado (3) es nula.
- 3.- Método de localización de faltas a tierra según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que en la etapa (19) arriba indicada, las emulaciones de
- 15 faltas son funciones del tipo superficie espacial que dependen del número de espira en falta (n), de la resistencia de defecto ( $R_f$ ) y de la frecuencia de resonancia ( $f_R$ ).
- 4.- Método de localización de faltas a tierra según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que en la etapa (20) arriba indicada, los valoresde anteriores ensayos de faltas son funciones del tipo superficie espacial que dependen del número de espira en
- 20 falta (n), de la resistencia de defecto, ( $R_f$ ) y de la ganancia asignada a frecuencia de resonancia,  $A(f_R)$ .
- 5.- Sistema de localización de faltas a tierra (4) en devanados (3) de máquinaseléctricas, del tipo basado en análisis de respuesta en frecuencia, provisto de:
- un dispositivo (5) de inyección de tensión a frecuencia variable y amplitud constante entre un borne del devanado en falta y una referencia a tierra;
  - una impedancia (6) de medida calibrada, conectada entre el otro borne del devanado en falta y una referencia a tierra (8);
  - un medidor (7) de salida configurado para medir entre los bornes de la impedancia de medida calibrada, determinar la ganancia (12) y fase (13) del devanado (3) en función de la frecuencia (14) de inyección y enviar
- 25
- 30



dicha información a un receptor;

en donde está provisto además de un dispositivo (11) de localización de faltas a tierra que comprende -al menos- los siguientes elementos:

- 5                   - un receptor, configurado para recibir las medidas de frecuencia (14), fase (13) y ganancia (12) obtenidas por el medidor (7) de salida;
- medios constructores de funciones de transferencia de fase y ganancia, configurados para calcular la función de transferencia de fase y ganancia a partir de las medidas de frecuencia (14), fase (13) y ganancia (12) obtenidas por el medidor (7) de salida;
- 10                el dispositivo (11) de localización de faltas a tierra caracterizado porque comprende:
  - medios calculadores de la frecuencia de resonancia y ganancia, configurados para calcular la frecuencia de resonancia  $f_R$  y la ganancia a dicha frecuencia de resonancia  $A(f_R)$  del devanado en falta, a partir de las medidas frecuencia (14), fase (13) y ganancia (12) obtenidas por el medidor (7) de salida;
  - 15               - un dispositivo de almacenamiento de bases de datos de ensayos previos de faltas en un devanado tipo, en los que se han emulado faltas en distintas espiras y con distintas resistencias de falta, configuradas para proporcionar el número de espira (n) de la falta a tierra a partir de la frecuencia de resonancia  $f_R$  y ganancia  $A(f_R)$  para dicha frecuencia de resonancia;
  - 20               - medios calculadores de curvas de corte, configurados para calcular una curva de corte de frecuencia de resonancia y una curva de corte de ganancia constante a partir de los valores de frecuencia de resonancia y ganancia del devanado ensayado incluidos en la base de datos;
  - 25               - un localizador de faltas, configurado para hallar el punto de corte de las curvas obtenidas por los medios calculadores de curvas, siendo dicho punto de corte una función del número de espira (n) de la falta y de la resistencia de falta ( $R_f$ ); y
  - 30

- un elemento emisor de información configurado para enviar el número de espira ( $n$ ) de la falta y la resistencia de falta ( $R_f$ ), obtenidas por el localizador de faltas.

5 6.- Sistema de localización de faltas a tierra según la reivindicación 5, en el que las bases de datos de ensayos previos de emulaciones de faltas en forma de funciones del tipo superficie espacial que dependen del número de espira en falta ( $n$ ), de la resistencia de defecto ( $R_f$ ) y de la frecuencia de resonancia ( $f_R$ ).

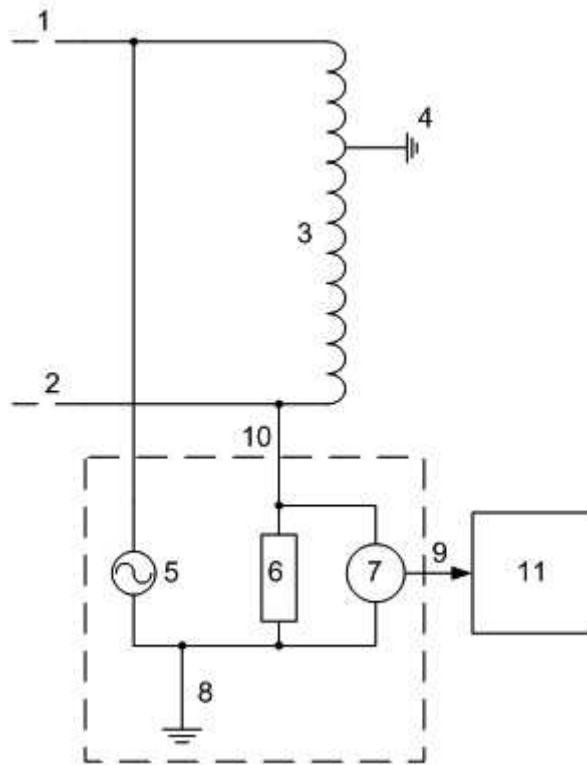


Fig. 1

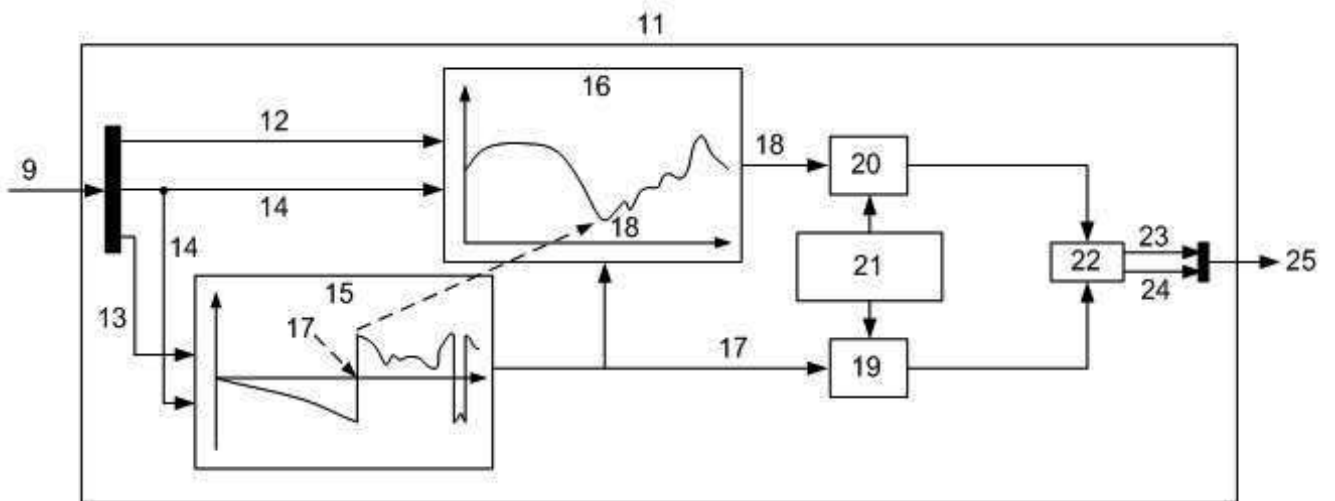


Fig. 2

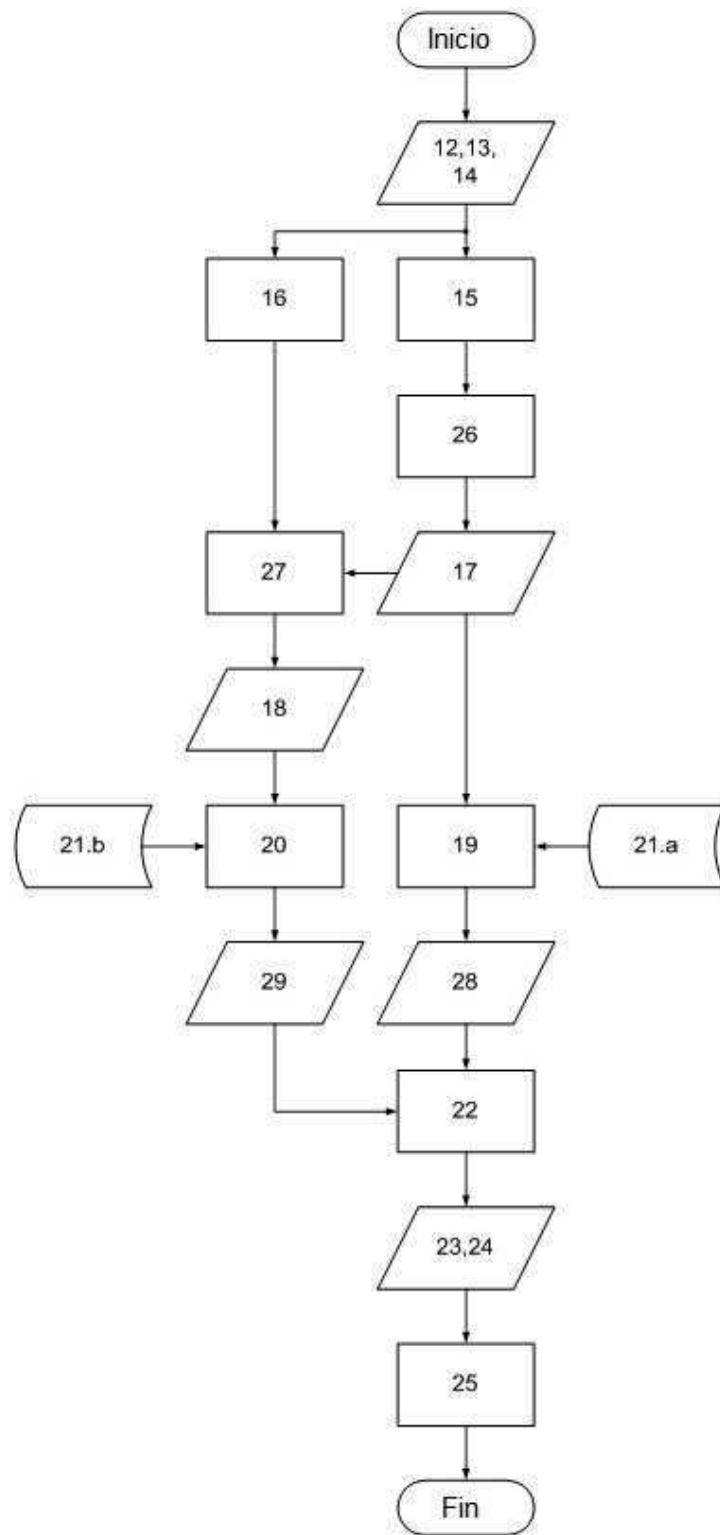


Fig. 3

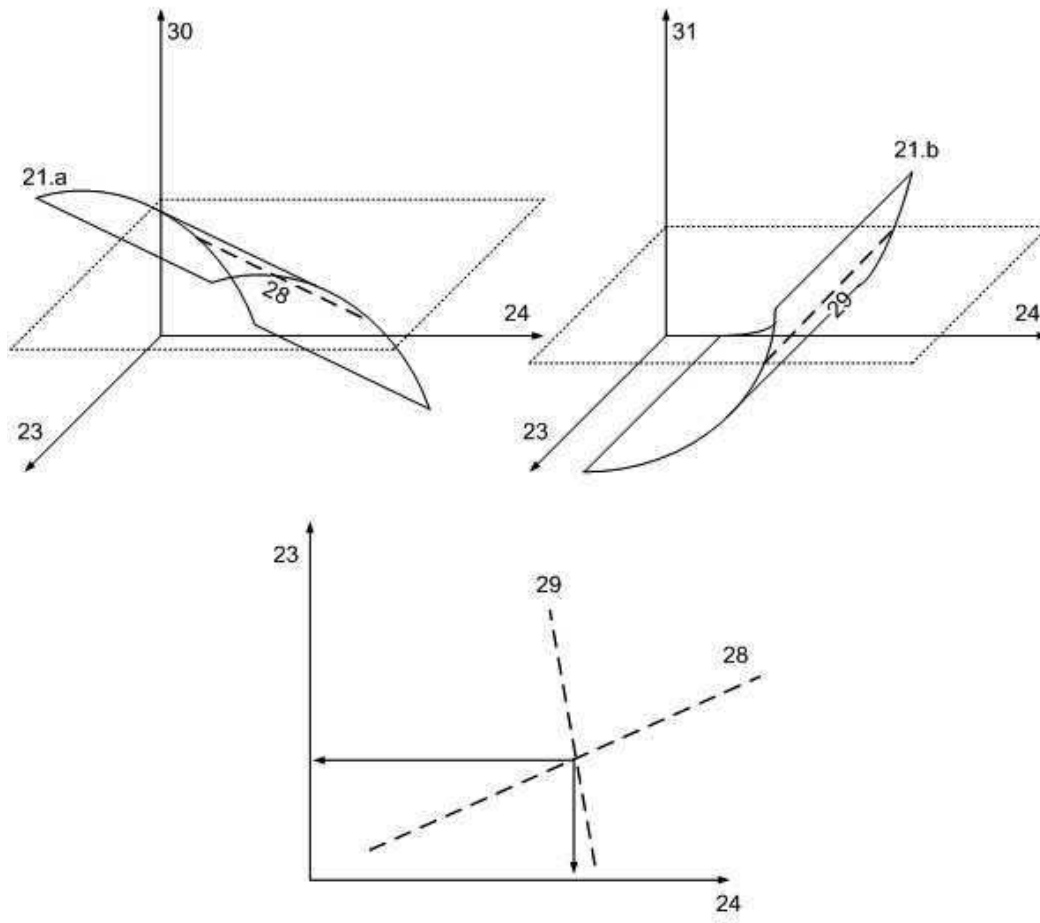


Fig. 4