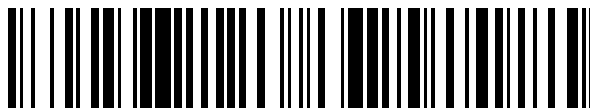


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 078 634**

21 Número de solicitud: 202530121

51 Int. Cl.:

G01R 31/00 (2006.01)

H02K 11/20 (2006.01)

H02P 29/024 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

17.02.2025

43 Fecha de publicación de la solicitud:

15.09.2026

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO / EUSKAL
HERRIKO UNIBERTSITATEA (75,00%)**

Barrio Sarriena, S/N

48940 Leioa (Bizkaia) ES y

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
(25,00%)**

72 Inventor/es:

GUERRERO GRANADOS, José Manuel;

PÉREZ GARCÍA, Jesús;

ITURREGI AIO, Aritz;

ZAMORA BELVER, Inmaculada y

VALIÑO LÓPEZ, Vanesa

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

54 Título: **SISTEMA Y MÉTODO DE DETECCIÓN DE FALTAS ENTRE ESPIRAS EN DEVANADOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE CORRIENTE ALTERNA**

57 Resumen:

Sistema y método de detección de faltas entre espiras en devanados de máquinas eléctricas de corriente alterna que utiliza al menos las medidas de corriente de la máquina a diagnosticar y las utiliza para obtener unas componentes instantáneas que se utilizan como característica para el diagnóstico. Dichas componentes instantáneas son sometidas a un análisis en el dominio de la frecuencia que permite la obtención de armónicos característicos de la falta entre espiras para proceder a la emisión de alarma a dispositivos externos a la invención. Esta invención es capaz de detectar faltas entre espiras en estado previo a su cortocircuito franco, dependiendo únicamente de la corriente de defecto que circula entre las espiras, y permitiendo así un diagnóstico precoz de la máquina eléctrica que está en funcionamiento.

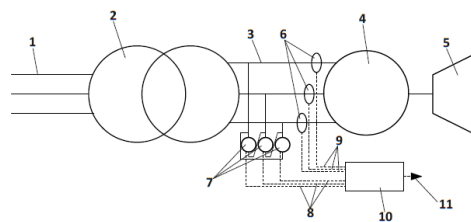


FIG. 1

DESCRIPCIÓN**SISTEMA Y MÉTODO DE DETECCIÓN DE FALTAS ENTRE ESPIRAS EN
DEVANADOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE CORRIENTE ALTERNA**

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un sistema y método de detección de faltas entre espiras para devanados de máquinas eléctricas de corriente alterna, generalmente aunque no limitado a máquinas eléctricas rotativas, pudiendo ser
10 estas también máquinas eléctricas lineales o transformadores, que detecta defectos de aislamiento entre conductores cercanos con la máquina en funcionamiento.

El método y sistema de la presente invención son de particular relevancia en
15 sistemas eléctricos que utilicen máquinas eléctricas en sus accionamientos como pueden ser, con carácter no limitativo, aerogeneradores con máquinas eléctricas de imanes permanentes, donde un diagnóstico precoz de faltas entre espiras de la máquina eléctrica puede ser crítico para evitar daños mayores en las máquinas.

20 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Con las medidas que se están llevando a cabo contra el cambio climático, las máquinas eléctricas están ganando protagonismo frente a la maquinaria térmica convencional. Esto implica un aumento de las unidades de este tipo de máquinas para proceder a la descarbonización de sectores como el de la generación de
25 energía eléctrica o del sector transportes. Sin embargo, con la inclusión de convertidores de potencia para controlar estas máquinas, y debido a su modulación, el aislamiento de estos dispositivos se ve comprometido de forma más acelerada. Si se suma la cantidad de unidades en operación, el riesgo de aparición de faltas eléctricas es cada vez más elevado.

30

En cuanto a faltas eléctricas se refiere, hay dos tipos de faltas fundamentales que pueden aparecer dentro de una máquina eléctrica y que son estudiadas por ser

las más concurrentes. Por un lado, las faltas a tierra, donde el conductor con aislamiento defectuoso hace contacto con el hierro y el chasis de la máquina eléctrica. Y por otro lado, las faltas entre espiras, donde el aislamiento entre al menos dos conductores, adyacentes o no, se ve comprometido. Este segundo

5 fenómeno implica la creación de una corriente que circula entre las espiras cortocircuitadas, concatenándose únicamente en el interior de la máquina y provocando efectos muy livianos en el exterior lo que hace su detección muy complicada de ejecutar. Aunque las tensiones entre los puntos de falta entre ambas espiras es muy baja, la impedancia del circuito también lo puede llegar a

10 ser, por lo que una falta franca entre espiras puede resultar en corrientes muy altas que lleguen a quemar los arrollamientos de la máquina y dejarla inutilizada.

Actualmente, existen multitud de técnicas para la detección de faltas entre espiras, donde las más representativas a la invención se presentan a continuación:

- 15 - Las faltas entre espiras pueden ser detectadas mediante técnicas que exigen que las máquinas eléctricas deban estar desconectadas de sus cargas o totalmente apagadas. Como es el caso de la patente rusa RU2642521C2, que mediante el uso de dos transformadores de tensión y unos galvanómetros conectados en el secundario de un transformador es
- 20 capaz de detectar faltas entre espiras el devanado de dicho transformador. Esto exige la desconexión de la carga del lado secundario y la alimentación desde red por el primario. Estas técnicas pueden detectar faltas entre espiras incluso en etapas tempranas, sin embargo, no las puede detectar en operación.
- 25 - Otra técnica es la del análisis de respuesta en frecuencia (FRA), que inyecta una señal de tensión y mide la impedancia del dipolo que hay entre la entrada y la salida. Comparando entre la huella sana y la que se obtiene durante el mantenimiento se puede detectar si existen faltas entre espiras si la diferencia entre ambas medidas es considerable, generalmente en el
- 30 rango de 10 kHz a 1 MHz. Sin embargo, si dichas faltas ocurren en operación, la máquina sufrirá daños irreparables antes de que se pueda ejecutar su diagnóstico.
- Cabe destacar que el análisis en parado y fase por fase de la resistencia

del devanado mediante corriente continua y corriente alterna con la máquina desconectada de red es otra técnica conocida para la resolución de este tipo de diagnósticos. Sin embargo, dispone del mismo problema que las dos anteriormente enunciadas.

- 5 - Otras técnicas como la que se describe en la publicación de patente china CN110988751A proponen utilizar circuitos resonantes conectados al devanado a estudiar y conectarlos mediante un transitorio de tensión y corriente. Analizando dicho transitorio se puede medir la inductancia total del circuito. Si esta diverge de los ensayos en sano, donde $C = L$ y por lo
10 tanto la parte imaginaria de la impedancia equivalente es nula, entonces existe una falta entre espiras que hace que L sea menor que C .

 - En la publicación de patente china CN117538746A detecta faltas entre
15 espiras en máquinas eléctricas conectadas mediante un transformador a la red con ambos neutros (máquina y secundario del transformador) puestos a tierra utilizando la medida de componente homopolar de la
 tensión de la máquina, las tres tensiones de fase, la corriente de tierra
 circulante que existe entre el neutro del transformador y la máquina
 conectada a este y un modelo previamente definido. Detectando cambios
20 en la tensión homopolar y en las tensiones de fase la invención es capaz de detectar faltas entre espiras. Sin embargo, es necesario un modelo previo o simulando al mismo tiempo que la máquina para poder llevar a
 cabo el diagnóstico.

 - En la publicación de patente norteamericana US2022393625A1 se
25 recogen las tres corrientes de fase de un generador síncrono y la posición del rotor con un “*encoder*” lo que permite obtener más resolución a la hora de obtener las componentes armónicas de frecuencia ya que se dispone de la frecuencia fundamental de la máquina mediante la medida de giro del eje de la misma.

30 Por lo tanto, es necesario disponer de nuevas técnicas que resuelvan varias de las limitaciones recopiladas en el actual estado de la técnica en la detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna. Para ello, se deben de disponer de sistemas y métodos de diagnóstico y protección frente a las

- 5 mismas de forma que sean fáciles de implantar, que utilicen pocos sensores, que sean rápidas/os y eficientes para evitar daños severos a las máquinas, y que sean capaces de detectar faltas incipientes (es decir espiras con el aislamiento deteriorado parcialmente entre ellas, o lo que es igual, faltas poco severas) en máquinas eléctricas antes de que estas se conviertan en faltas graves que provoquen daños severos a las mismas. Todo ello con dichas máquinas a proteger en funcionamiento.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

10

La presente invención soluciona los problemas que presenta el estado de la técnica comentados anteriormente, mediante el sistema y el método definido en las adjuntas reivindicaciones independientes. Para ello, un primer aspecto de la invención se refiere a un sistema de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna que permite detectar al menos una falta entre
15 espiras con la máquina en funcionamiento, y que comprende al menos los siguientes subsistemas:

20

- un subsistema de registro de corrientes que recoge al menos las corrientes de todas las bornas de entrada o salida del devanado de la máquina eléctrica a proteger;
- un subsistema de estimación de corrientes de secuencia instantánea a partir de las corrientes medidas anteriormente. Dichas componentes de secuencia instantánea preferentemente se disponen como sigue (para un ejemplo trifásico):

25

$$\begin{bmatrix} i_{0r} \\ i_{1r} \\ i_{2r} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) \\ 1 & -\cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_{0i} \\ i_{1i} \\ i_{2i} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \\ 0 & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$i_0 = \sqrt{i_{0r}^2 + i_{0i}^2}$$

$$i_1 = \sqrt{i_{1r}^2 + i_{1i}^2}$$

$$i_2 = \sqrt{i_{2r}^2 + i_{2i}^2}$$

5 donde: i_a , i_b e i_c son las corrientes de fase de la máquina eléctrica a proteger; i_{0r} , i_{1r} e i_{2r} son las componentes de secuencia instantánea reales; i_{0i} , i_{1i} e i_{2i} son las componentes de secuencia instantánea transversales a las anteriores; i_0 , i_1 e i_2 son las componentes de secuencia instantáneas absolutas;

- un subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo mediante una corriente que registra la medida del rizado de la componente i_1 y/o i_2 y detecta la falta entre espiras si dicha componente sobrepasa un valor umbral T1 previamente establecido por el operador de la instalación;
- un subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio de la frecuencia mediante una corriente que realiza una transformación de la medida de i_1 y/o i_2 en función del tiempo a dominio de la frecuencia, y que detecta la falta si las componentes de frecuencia superan un cierto umbral T2 previamente establecido por el operador de la instalación; y
- un subsistema de emisión de alarma que envía una señal de alarma con información de al menos la detección de la falta entre espiras a dispositivos externos a la invención.

20

En una realización preferente de la invención, el subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo calcula el rizado de la corriente como:

$$\Delta i = \frac{i_{max} - i_{min}}{i_m}$$

25 donde Δi es el rizado de la corriente "i" que se refiere a una corriente instantánea genérica pudiendo ser esta i_1 o i_2 ; i_{max} e i_{min} se refieren a los valores máximo y mínimo de la corriente anterior para un ciclo de i_a , i_b o i_c ; e i_m se refiere al valor medio de la corriente "i".

30 En otra realización preferente de la invención, el subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio de la frecuencia compara la componente de segundo

armónico de la corriente i_1 o i_2 , obtenida de un proceso de conversión, como puede ser una transformada rápida de Fourier, en ventanas sucesivas no solapadas entre ellas y utiliza la diferencia convertida a decibelios tal que:

$$A_i = 20 \cdot \log \left(\frac{i_{s(k=2)}}{i_{s(k=1)}} \right) - 20 \cdot \log \left(\frac{i_{p(k=2)}}{i_{p(k=1)}} \right)$$

- 5 donde: A_i es la diferencia en decibelios entre el segundo armónico ($k=2$) normalizado respecto a su primer armónico de la corriente i_s , que es la corriente de la ventana sucesiva, y el segundo armónico ($k=2$) normalizado respecto al primer armónico de la corriente i_p , que es la corriente de la ventana anterior, para i_1 o i_2 .

10

En otra realización preferente de la invención los subsistemas de registro, estimación de componentes de secuencia instantánea y detección de falta en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia, son para tensiones en vez de para corrientes. En dicho caso, las tensiones a tener en cuenta pueden ser las

15 tensiones de fase o tensiones de línea en bornes de la máquina eléctrica a proteger.

En otra realización preferente de la invención tanto los subsistemas referidos a tensión como los subsistemas referidos a corriente, pueden utilizarse de forma

20 paralela para detectar la falta entre espiras.

En otra realización preferente de la invención el sistema de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna utiliza los subsistemas de registro de corrientes y tensiones para estimar la carga de la máquina. Esto

25 permite hacer un seguimiento adaptativo del rizado de la corriente y/o tensión y de la comparación relativa en decibelios del segundo armónico de corriente y/o tensión evitando disparos no deseados por fluctuación de carga. El sistema detectará entonces una falta cuando se produzca una fluctuación en Δi (o Δu para tensiones) o haya una diferencia mayor que T2 en A_i (o A_u para tensiones) cuando

30 no se produzca una fluctuación en la carga de la máquina.

Otro aspecto de la invención se refiere a un método de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna que permite detectar la falta entre espiras con la máquina en funcionamiento, donde el método comprende al menos las siguientes etapas:

- 5 - una etapa de registro de corrientes que recoge al menos las corrientes de todas las bornas de entrada o salida del devanado de la máquina eléctrica a proteger;
- una etapa de estimación de corrientes de secuencia instantánea con las anteriores corrientes. Preferentemente dichas componentes de secuencia
- 10 instantánea se disponen como sigue (para un ejemplo trifásico):

$$\begin{bmatrix} i_{0r} \\ i_{1r} \\ i_{2r} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) \\ 1 & -\cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_{0i} \\ i_{1i} \\ i_{2i} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \\ 0 & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$i_0 = \sqrt{i_{0r}^2 + i_{0i}^2}$$

$$i_1 = \sqrt{i_{1r}^2 + i_{1i}^2}$$

$$15 \quad i_2 = \sqrt{i_{2r}^2 + i_{2i}^2}$$

donde: i_a , i_b e i_c son las corrientes de fase de la máquina eléctrica a proteger; i_{0r} , i_{1r} e i_{2r} son las componentes de secuencia instantánea reales; i_{0i} , i_{1i} e i_{2i} son las componentes de secuencia instantánea transversales a las anteriores; i_0 , i_1 e i_2 son las componentes de secuencia instantáneas absolutas;

- 20 - una etapa de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo mediante corriente que registra la medida del rizado de la componente i_1 y/o i_2 y detecta la falta entre espiras si dicha componente sobrepasa un valor umbral T1 previamente establecido por el operador de la instalación;
- 25 - una etapa de detección de falta entre espiras en el dominio de la frecuencia mediante corriente que realiza una transformación de la medida de i_1 y/o i_2

en función del tiempo a dominio de la frecuencia, y que detecta la falta si las componentes de frecuencia superan un cierto umbral T2 previamente establecido por el operador de la instalación; y

- una etapa de emisión de alarma que envía una señal de alarma con información de al menos la detección de la falta entre espiras.

En el método de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna, las etapas pueden aplicarse a la medida de tensión de fase o línea en vez de para corrientes o pueden utilizarse ambas medidas de tensión y corriente de forma complementaria para realizar la detección de la falta entre espiras de la máquina eléctrica a proteger.

Utilizando la medida de tensión y corriente conjuntamente se puede estimar la carga de la máquina para evitar disparos indeseados. Son válidos entonces los disparos que sobrepasen los umbrales T1 y T2 si no se ha detectado una variación de la carga durante el proceso.

Por lo tanto, la invención proporciona un sistema y un método de diagnóstico y protección que son fáciles de implantar, que requieren pocos sensores, y que son rápidos y eficientes para evitar daños severos a las máquinas. Además, la invención es capaz de detectar faltas incipientes, es decir, en espiras con el aislamiento deteriorado parcialmente entre ellas, o lo que es igual, faltas poco severas, en máquinas eléctricas antes de que estas se conviertan en faltas graves que provoquen daños severos a las mismas. Todo ello con dichas máquinas a proteger en funcionamiento.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Se describen de forma breve una serie de figuras, de ejemplos no limitativos, que ayudan a comprender mejor la invención:

La figura 1 muestra un esquema eléctrico de un ejemplo no limitativo de una posible realización del sistema de la invención para una máquina eléctrica directamente conectada a red.

- 5 La figura 2 muestra un esquema eléctrico de un ejemplo no limitativo de una posible realización del sistema de la invención para una máquina eléctrica utilizada en un accionamiento de velocidad variable con convertidores.

- La figura 3 muestra un diagrama de bloques de una posible configuración de los
10 subsistemas de una posible realización de la invención.

La figura 4 muestra un diagrama de bloques de una posible configuración del flujograma de etapas de una posible realización del método de la invención.

- 15 Las figuras 5.a y 5.b muestran gráficas de ejemplos de estimación de corrientes de secuencia instantáneas en el dominio del tiempo y de la frecuencia, respectivamente, para la detección de falta entre espiras para una máquina eléctrica.

20 **REFERENCIAS NUMÉRICAS DE LAS FIGURAS**

- (1) Lado de red de corriente alterna;
(2) Transformador;
(3) Lado secundario del transformador en corriente alterna;
25 (4) Máquina eléctrica de corriente alterna;
(5) Carga/turbina;
(6) Medidor de corriente;
(7) Medidor de tensión;
(8) Señal de tensión;

- (9) Señal de corriente;
- (10) Sistema de detección de faltas entre espiras;
- (11) Señal de alarma;
- (12) Convertidor electrónico del lado de red;
- 5 (13) Polo positivo de corriente continua;
- (14) Polo negativo de corriente continua;
- (15) Condensador;
- (16) Convertidor del lado de la máquina eléctrica;
- (17) Lado de corriente alterna de la máquina eléctrica;
- 10 (18) Subsistema de registro de corrientes;
- (19) Subsistema de registro de tensiones;
- (20) Subsistema de estimación de carga;
- (21) Subsistema de estimación de corrientes de secuencia instantáneas;
- (22) Subsistema de estimación de tensiones de secuencia instantáneas;
- 15 (23) Subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo mediante corriente;
- (24) Subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo mediante tensión;
- (25) Subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio de la frecuencia
- 20 mediante corriente;
- (26) Subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio de la frecuencia mediante tensión;
- (27) Subsistema de emisión de alarma;
- (28) Etapa de registro de tensiones y/o corrientes;
- 25 (29) Etapa de estimación de carga;
- (30) Etapa de estimación de componentes de secuencia instantáneas;
- (31) Etapa de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo;
- (32) Etapa de detección de falta entre espiras en el dominio de la frecuencia;

(33) Etapa de emisión de alarma.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS FIGURAS Y REALIZACIONES PREFERENTES

5

A continuación, se procede a describir de forma más detallada las figuras introducidas previamente, las cuales se tratan de realizaciones preferentes no limitativas de la invención.

- 10 La figura 1 muestra una máquina eléctrica de corriente alterna (4) rotativa conectada directamente a la red eléctrica (1) mediante un transformador (2). Este transformador permite separar el lado de red de corriente alterna con el lado secundario del transformador de corriente alterna (3), generalmente de menor o igual tensión. La máquina (4) queda conectada a una carga/turbina (5) que permite
- 15 a la misma funcionar como motor o generador, respectivamente. En bornes del estator de esta máquina, pudiendo ser la misma de forma no limitativa una máquina de inducción de jaula de ardilla o máquina síncrona, se mide corriente y tensión de línea y/o fase con medidores de corriente (6) y medidores de tensión (7), respectivamente. Las señales de corriente (9) y tensión (8) son enviadas al
- 20 sistema de detección de faltas entre espiras (10) que ejecuta el diagnóstico y emite una señal de alarma (11) a dispositivos externos en caso de falta.

- La figura 2 muestra una máquina eléctrica conectada a partir de un accionamiento de velocidad variable o accionamiento controlado. Además de los elementos
- 25 anteriores de la realización de la figura 1, se ha incorporado posteriormente al lado secundario del transformador en corriente alterna (3) un accionamiento eléctrico. Este consta de un convertidor electrónico del lado de red (12), que rectifica o invierte la corriente (según la forma de trabajo de la máquina eléctrica sea motor o generador, respectivamente). En caso de funcionar como rectificador, la
- 30 corriente alterna del transformador (2) se rectifica a corriente continua entre el polo positivo (13) y el polo negativo (14) de corriente continua. Se ha dispuesto un condensador (15) para reducir el rizado de la tensión en la etapa de corriente

- continua. Posteriormente un convertidor del lado de la máquina eléctrica (16) invierte dicha corriente con condiciones variables de tensión y frecuencia para controlar la máquina en el punto de operación deseado para la instalación. Los medidores de tensión (7) y de corriente (6) permanecen en bornes del estator de la máquina eléctrica pudiendo ser esta una máquina síncrona o asíncrona y permiten, tanto realimentar el convertidor del lado de la máquina eléctrica (16), como introducir dichas señales en el sistema de detección de faltas entre espiras (10) para ejecutar el diagnóstico de la máquina.
- La figura 3 muestra una posible distribución de los subsistemas de una posible realización de la invención para el sistema de detección de faltas entre espiras (10). En este sistema primeramente se introducen las señales de tensión (8) y corriente (9) en los subsistemas de registro de tensiones (19) y de registro de corrientes (18), respectivamente. a partir de estos subsistemas, se generan unas señales digitales que se emiten a diferentes subsistemas que permiten diversas funciones. Por un lado, estas señales se emiten a un subsistema de estimación de carga que permite estimar el estado de carga de la máquina mediante U (tensión), I (corriente), y la impedancia equivalente de la máquina previamente conocida mediante ensayos previos a la máquina eléctrica a proteger. Por otro lado, el subsistema de registro de corrientes (18) introduce sus señales digitales de corriente en el subsistema de estimación de corrientes de secuencia instantáneas (21) que permite la transformación matricial de las corrientes i_a , i_b e i_c (en el caso de las figuras 1 y 2) en i_0 , i_1 e i_2 , tal que:

$$\begin{bmatrix} i_{0r} \\ i_{1r} \\ i_{2r} \end{bmatrix} = [W_r] \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_{0i} \\ i_{1i} \\ i_{2i} \end{bmatrix} = [W_i] \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$i_0 = \sqrt{i_{0r}^2 + i_{0i}^2}$$

$$i_1 = \sqrt{i_{1r}^2 + i_{1i}^2}$$

$$i_2 = \sqrt{i_{2r}^2 + i_{2i}^2}$$

donde: i_a , i_b e i_c son las corrientes de fase de la máquina eléctrica a proteger; i_{0r} ,

i_{1r} e i_{2r} son las componentes de secuencia instantánea reales; i_{0i} , i_{1i} e i_{2i} son las componentes de secuencia instantánea transversales a las anteriores; i_0 , i_1 e i_2 son las componentes de secuencia instantáneas absolutas y donde:

$$[W_r] = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) \\ 1 & -\cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) \end{pmatrix}$$

$$[W_i] = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \\ 0 & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \end{pmatrix}$$

Y por otro lado, el subsistema de registro de tensiones (19) introduce sus señales digitales de tensión en el subsistema de estimación de tensiones de secuencia instantáneas (22) que permite la transformación matricial de las tensiones u_a , u_b e u_c (en el caso de las figuras 1 y 2) en u_0 , u_1 e u_2 , tal que:

$$\begin{bmatrix} u_{0r} \\ u_{1r} \\ u_{2r} \end{bmatrix} = [W_r] \cdot \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u_{0i} \\ u_{1i} \\ u_{2i} \end{bmatrix} = [W_i] \cdot \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix}$$

$$u_0 = \sqrt{u_{0r}^2 + u_{0i}^2}$$

$$u_1 = \sqrt{u_{1r}^2 + u_{1i}^2}$$

$$u_2 = \sqrt{u_{2r}^2 + u_{2i}^2}$$

donde: u_a , u_b e u_c son las tensiones de fase de la máquina eléctrica a proteger; u_{0r} , u_{1r} e u_{2r} son las componentes de secuencia instantánea reales; u_{0i} , u_{1i} e u_{2i} son las componentes de secuencia instantánea transversales a las anteriores; u_0 , u_1 e u_2 son las componentes de secuencia instantáneas absolutas y donde:

$$[W_r] = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) \\ 1 & -\cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) \end{pmatrix}$$

$$[W_i] = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \\ 0 & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \end{pmatrix}$$

Cabe destacar que las componentes de secuencia instantáneas aportan más información que las componentes de secuencia fasoriales tradicionales. Estas pueden ser sometidas a descomposición armónica en el dominio de la frecuencia, ya que no solamente se basan en la medida de primer armónico, como si lo hacen las componentes directa, inversa y homopolar fasoriales. Posteriormente, en un subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo mediante corriente (23) o en un subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo mediante tensión (24) se detecta la falta entre espiras si la medida pico-pico o de rizado de la corriente o tensión supera un cierto umbral T_1 previamente definido por el operador de la instalación tal que:

$$i_{max} - i_{min} \geq T_1$$

o bien

$$\Delta i = \frac{i_{max} - i_{min}}{i_m} \geq T_1$$

donde Δi es el rizado de la corriente “ i ” que se refiere a una corriente instantánea genérica pudiendo ser esta i_1 o i_2 ; i_{max} e i_{min} se refieren a los valores máximo y mínimo de la corriente anterior para un ciclo de i_a , i_b o i_c ; e i_m se refiere al valor medio de la corriente “ i ”; o tal que:

$$u_{max} - u_{min} \geq T_1$$

o bien

$$\Delta u = \frac{u_{max} - u_{min}}{u_m} \geq T_1$$

donde Δu es el rizado de la tensión “ u ” que se refiere a una tensión instantánea genérica pudiendo ser esta u_1 o u_2 ; u_{max} e u_{min} se refieren a los valores máximo y mínimo de la tensión anterior para un ciclo de u_a , u_b o u_c ; e u_m se refiere al valor medio de la tensión “ u ”. Estos cambios pico-pico o de rizado van sujetos a que el subsistema de estimación de carga (20) no detecte cambios en la carga. De esta forma se puede distinguir si estos cambios de rizado o pico-pico son debidos a faltas o a cambios en la carga. De forma paralela, se elabora un disparo más lento

para la detección de faltas entre espiras que en los subsistemas de detección en el dominio del tiempo (23)/(24), esto se da en un subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio de la frecuencia mediante corriente (25) y en un subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio de la frecuencia mediante tensión (26), que realizan dicha transformación mediante técnicas como la transformada rápida de Fourier y comparan armónicos previos y posteriores a la falta entre espiras. Como indicador no limitante de la invención se dispone la comparación mediante segundo armónico de la frecuencia fundamental ($k = 2$). La detección se produce cuando la diferencia entre este armónico entre la ventana temporal de corriente/tensión previa y sucesiva transformadas al dominio de la frecuencia superan un valor umbral T_2 previamente definido por el operador de la instalación eléctrica a proteger, tal que:

$$A_i = 20 \cdot \log\left(\frac{i_{s(k=2)}}{i_{s(k=1)}}\right) - 20 \cdot \log\left(\frac{i_{p(k=2)}}{i_{p(k=1)}}\right) \geq T_2$$

donde: A_i es la diferencia en decibelios entre el segundo armónico ($k=2$) normalizado respecto a su primer armónico ($k=1$) de la corriente i_s , que es la corriente de la ventana sucesiva, y el segundo armónico ($k=2$) normalizado respecto al primer armónico ($k=1$) de la corriente i_p , que es la corriente de la ventana anterior, para i_1 o i_2 ; o tal que:

$$A_u = 20 \cdot \log\left(\frac{u_{s(k=2)}}{u_{s(k=1)}}\right) - 20 \cdot \log\left(\frac{u_{p(k=2)}}{u_{p(k=1)}}\right) \geq T_2$$

donde: A_u es la diferencia en decibelios entre el segundo armónico ($k=2$) de normalizado respecto a su primer armónico ($k=1$) de u_s , que es la tensión de la ventana sucesiva, y el segundo armónico ($k=2$) normalizado respecto al primer armónico ($k=1$) de la tensión u_p , que es la tensión de la ventana anterior, para u_1 o u_2 .

Finalmente, si alguno de los indicadores supera T_1 o T_2 , el subsistema emite una señal de alarma (11) a dispositivos externos a la invención mediante un subsistema de emisión de alarma (27).

La figura 4 muestra una posible realización del método de la invención. En esta figura, el método dispone de diferentes etapas. Este método empieza recopilando las corrientes, i_a , i_b e i_c , y las tensiones u_a , u_b y u_c (en el caso de un sistema trifásico

de corriente alterna) en una etapa de registro de tensiones y/o corrientes (28). En esta etapa las corrientes registradas son las corrientes del devanado de la máquina eléctrica a proteger y las tensiones pueden ser tensiones de fase o tensiones de línea de la máquina eléctrica a proteger. Estas se introducen en una

5 etapa de estimación de carga (29) que determina la carga de la máquina en función de los parámetros del circuito equivalente de la misma, previamente introducidos por el operador de la instalación eléctrica. A continuación se procede a una etapa de estimación de componentes de secuencia instantáneas (30), que puede aplicarse tanto a corrientes (30.a) como a tensiones (30.b), creando dos

10 ramas de detección suficientes y complementarias entre sí. Esta etapa de estimación de componentes de secuencia instantánea (30) permite la estimación de las corrientes i_0 , i_1 e i_2 en el dominio del tiempo y/o de u_0 , u_1 y u_2 en el dominio del tiempo permitiendo obtener más información que de las componentes de secuencia fasoriales de primer armónico que se utilizan convencionalmente. Con

15 las componentes de secuencia instantáneas se procede a la detección de faltas entre espiras en una etapa de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo (31), que permite un disparo prácticamente instantáneo si el rizado de la corriente (31.a)/tensión(31.b) o su valor pico-pico es mayor que un primer umbral de disparo, T1, previamente fijado por el operador de la instalación eléctrica. Si el

20 rizado o el valor pico-pico es mayor que el umbral de disparo y este no coincide con una variación con la carga de la máquina estimada en la etapa de estimación de carga (29), entonces se procede a una etapa de emisión de alarma (33) con al menos información de la detección de falta entre espiras.

25 Si por el contrario, el valor pico-pico o rizado sigue manteniéndose dentro de los límites del umbral T1, entonces se procede a una etapa de detección de faltas entre espiras en el dominio de la frecuencia, donde i_1 y/o i_2 (32.a) o u_1 y/o u_2 (32.b) son transformados al dominio de la frecuencia por ejemplo utilizando una transformada rápida de Fourier (FFT por sus siglas en inglés). Estas corrientes o

30 tensiones en el dominio de la frecuencia son comparadas por ventanas de medidas de longitud determinada por el operador de la instalación. Una mayor longitud de medida dará más detalle sobre los armónicos pero será más lenta y viceversa. Posteriormente, se compararán las ventanas “previa” y “siguiente” de corriente y/o tensión para obtener A_i y/o A_u respectivamente, para un armónico

característico, siendo este (con carácter no limitativo de dicha etapa) el segundo armónico de la frecuencia fundamental de la máquina eléctrica, y si alguno de los dos indicadores (A_i o A_u) son mayores que un umbral T2, entonces implica falta lo que implica el envío de una señal de alarma mediante una etapa de emisión de
 5 alarma (33). Si no, el sistema estará operando en condiciones sanas y se procederá de nuevo a la lectura de tensiones y/o corrientes en la etapa de registro (28) correspondiente.

El sistema de detección de faltas en espiras (10), puede implementarse mediante
 10 un dispositivo electrónico programable, programado para realizar el diagnostico que se ha descrito.

La figura 5 muestra un ejemplo numérico para una falta en el devanado W1W2 de una máquina eléctrica de imanes permanentes de 3.5 kW de potencia nominal a
 15 350 V y operando a 42 Hz de frecuencia fundamental. En esta máquina se procede a realizar un cortocircuito entre espiras de dicho devanado con una corriente de falta de 1.5 A, lo cual es una severidad leve (0.25 p.u.). La carga a la que se le somete a la máquina eléctrica es del 60% de la potencia nominal trifásica y equilibrada, operando en régimen "motor". Por otro lado, T1 se ha configurado
 20 para un rizado de 10 % y una diferencia pico-pico de 0.5 A y T2 se ha configurado para una diferencia máxima de 5 dB. Se registran las tres corrientes i_a , i_b e i_c a las que se somete a las distintas etapas y subsistemas de la posible realización de la invención descrita anteriormente.

- En la figura 5.a se muestra una ventana temporal de 20 s de la corriente
 25 de secuencia instantánea, i_1 , calculada acorde lo previamente descrito con los valores de las corrientes i_a , i_b e i_c . Se puede observar, que en el segundo 10.1 se produce una falta entre espiras puesto que al no variar la carga, se produce una perturbación que aumenta el rizado desde un 7.16% y una magnitud pico-pico de 0.2 A hasta un rizado de 11.0% y una magnitud pico-pico de 0.3 A. En este caso, el sistema podría emitir una señal de alarma
 30 puesto que T1 se ha excedido por rizado de corriente.
- En la figura 5.b se analiza la corriente i_1 de la figura previa en dos ventanas. Por un lado, se observa la corriente previa a la falta (hasta $t = 10$ s) y por

- 5 otro lado la corriente durante la falta (desde $t = 10$ s hasta 20 s). Ambos espectros han sido normalizados para la corriente de primer armónico de i_1 (en 42 Hz). Comparando ambos resultados se tiene que la componente de frecuencia de segundo armónico de i_1 (en 84 Hz) es -16.74 dB en caso sano y 5.96 dB en el caso con falta, por lo que $A_i = 22.7$ que supera con creces el valor de T2.

REIVINDICACIONES

- 1.- Sistema de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna que permite detectar al menos una falta entre espiras con la máquina en funcionamiento, **caracterizado** porque comprende al menos los siguientes subsistemas:
- un subsistema de registro de corrientes y/o tensiones que recoge al menos las corrientes y/o tensiones de todas las bornas de entrada o salida del devanado de la máquina eléctrica a proteger;
 - un subsistema de estimación de corrientes de secuencia instantánea a partir de las anteriores corrientes registradas;
 - un subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo mediante corriente que registra la medida del rizado de la componente i_1 y/o i_2 y detecta la falta entre espiras si dicha componente sobrepasa un valor umbral T1 previamente establecido por el operador de la instalación, donde i_1 e i_2 son las componentes de secuencia instantáneas absolutas;
 - un subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio de la frecuencia mediante corriente que realiza una transformación de la medida de i_1 y/o i_2 en función del tiempo a dominio de la frecuencia, y que detecta la falta si las componentes de frecuencia superan un cierto umbral T2 previamente establecido por el operador de la instalación; y
 - un subsistema de emisión de alarma que envía una señal de alarma con información de al menos la detección de la falta entre espiras a dispositivos externos a la invención.
- 2.- Sistema de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según la reivindicación 1, **caracterizado** porque en el subsistema de estimación de corrientes de secuencia, dichas componentes de secuencia instantánea se disponen como sigue, para un ejemplo trifásico:

$$\begin{bmatrix} i_{0r} \\ i_{1r} \\ i_{2r} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) \\ 1 & -\cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_{0i} \\ i_{1i} \\ i_{2i} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \\ 0 & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$i_0 = \sqrt{i_{0r}^2 + i_{0i}^2}$$

$$i_1 = \sqrt{i_{1r}^2 + i_{1i}^2}$$

$$i_2 = \sqrt{i_{2r}^2 + i_{2i}^2}$$

5

donde: i_a , i_b e i_c son las corrientes de fase de la máquina eléctrica a proteger; i_{0r} , i_{1r} e i_{2r} son las componentes de secuencia instantánea reales; i_{0i} , i_{1i} e i_{2i} son las componentes de secuencia instantánea transversales a las anteriores; i_0 , i_1 e i_2 son las componentes de secuencia instantáneas absolutas.

10

3.- Sistema de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo calcula el rizado de la corriente como:

15

$$\Delta i = \frac{i_{max} - i_{min}}{i_m}$$

donde Δi es el rizado de la corriente “ i ” que se refiere a una corriente instantánea genérica pudiendo ser esta i_1 o i_2 ; i_{max} e i_{min} se refieren a los valores máximo y mínimo de la corriente anterior para un ciclo de i_a , i_b o i_c ; e i_m se refiere al valor medio de la corriente “ i ”.

20

4.- Sistema de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio de la frecuencia compara la componente de segundo armónico de la corriente i_1 o i_2 , obtenida de un proceso de conversión en ventanas sucesivas no solapadas entre ellas y utiliza la diferencia convertida a decibelios tal que:

25

$$A_i = 20 \cdot \log \left(\frac{i_{s(k=2)}}{i_{s(k=1)}} \right) - 20 \cdot \log \left(\frac{i_{p(k=2)}}{i_{p(k=1)}} \right)$$

donde: A_i es la diferencia en decibelios entre el segundo armónico ($k=2$) normalizado respecto a su primer armónico de la corriente i_s , que es la corriente de la ventana sucesiva, y el segundo armónico ($k=2$) normalizado respecto al primer armónico de la corriente i_p , que es la corriente de la ventana anterior, para i_1 o i_2 .

5.- Sistema de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según la reivindicación 4, **caracterizado** porque la corriente comparada en A_i es la corriente de segundo armónico respecto a la frecuencia de alimentación fundamental de la máquina eléctrica a proteger de la componente directa o inversa de secuencia instantánea (i_1 o i_2).

6.- Sistema de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según la reivindicación 1, **caracterizado** porque los subsistemas de registro, estimación de componentes de secuencia instantánea y detección de falta en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia, se basan en las tensiones registradas en lugar de las corrientes, siendo las tensiones: tensiones de línea o tensiones de fase en los terminales de los devanados a diagnosticar.

7.- Sistema de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según las reivindicaciones 1 y 6, **caracterizado** porque el subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo calcula el rizado de la tensión como:

$$\Delta u = \frac{u_{max} - u_{min}}{u_m}$$

donde Δu es el rizado de la tensión “ u ” que se refiere a una tensión instantánea genérica pudiendo ser esta u_1 o u_2 ; u_{max} e u_{min} se refieren a los valores máximo y mínimo de la tensión anterior para un ciclo de u_a , u_b o u_c ; e u_m se refiere al valor medio de la tensión “ u ”.

8.- Sistema de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según las reivindicaciones 1 y 6, **caracterizado** porque el subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio de la frecuencia compara la componente de segundo armónico de la tensión u_1 o u_2 , obtenida

de un proceso de conversión, en ventanas sucesivas no solapadas entre ellas y utiliza la diferencia convertida a decibelios tal que:

$$A_u = 20 \cdot \log \left(\frac{u_{s(k=2)}}{u_{s(k=1)}} \right) - 20 \cdot \log \left(\frac{u_{p(k=2)}}{u_{p(k=1)}} \right)$$

5 donde: A_u es la diferencia en decibelios entre el segundo armónico ($k=2$) normalizado respecto a su primer armónico de la tensión u_s , que es la tensión de la ventana sucesiva, y el segundo armónico ($k=2$) normalizado respecto al primer armónico de la tensión u_p , que es la tensión de la ventana anterior, para u_1 o u_2 .

10 9.- Sistema de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según las reivindicaciones 1 y 6, **caracterizado** porque el sistema utiliza las medidas de tensión y corriente de forma simultánea para utilizarlas de forma paralela en el diagnóstico de faltas entre espiras siendo cada una de las ramas, o bien diagnóstico por corrientes, o bien diagnóstico por tensiones complementarias entre ellas y condición suficiente de diagnóstico de falta individualmente.

20 10.- Sistema de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según las reivindicaciones 1, 6 y 9, **caracterizado** porque el sistema comprende al menos un subsistema de estimación de carga de la máquina eléctrica que utiliza los subsistemas de registro de corrientes y tensiones para estimar la carga de la máquina, y que está comunicado con el subsistema de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo, por corriente y/o tensión, y que evita el disparo si se sobrepasa el umbral preestablecido T1 cuando se produce una variación de carga, y que posteriormente a dicha variación de carga, si T1 se mantiene superado, entonces se detecta la falta.

25 11.- Sistema de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la máquina eléctrica es: una máquina de inducción de jaula de ardilla, una máquina síncrona o un transformador.

30 12.- Método de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna que permite detectar la falta entre espiras con la máquina en funcionamiento, **caracterizado** porque comprende al menos las siguientes

etapas:

- una etapa de registro de corrientes y/o tensiones que recoge al menos las corrientes y/o tensiones de todas las bornas de entrada o salida del devanado de la máquina eléctrica a proteger;
- 5 - una etapa de estimación de corrientes de secuencia instantánea a partir de las corrientes anteriormente registradas;
- 10 una etapa de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo mediante corriente que registra la medida del rizado de la componente i_1 y/o i_2 y detecta la falta entre espiras si dicha componente sobrepasa un valor umbral T1 previamente establecido por el operador de la instalación, donde i_1 e i_2 son las componentes de secuencia instantáneas absolutas;
- 15 - una etapa de detección de falta entre espiras en el dominio de la frecuencia mediante corriente que realiza una transformación de la medida de i_1 y/o i_2 en función del tiempo a dominio de la frecuencia, y que detecta la falta si las componentes de frecuencia superan un cierto umbral T2 previamente establecido por el operador de la instalación; y
- 20 - una etapa de emisión de alarma que envía una señal de alarma con información de al menos la detección de la falta entre espiras a dispositivos externos a la invención.

13.- Método de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna que permite detectar la falta entre espiras con la máquina en funcionamiento, según la reivindicación 12, **caracterizado** porque dichas componentes de secuencia instantánea se disponen como sigue, para un ejemplo trifásico:

$$\begin{bmatrix} i_{0r} \\ i_{1r} \\ i_{2r} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) \\ 1 & -\cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\frac{2\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_{0i} \\ i_{1i} \\ i_{2i} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \\ 0 & -\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$$i_0 = \sqrt{i_{0r} + i_{0i}}$$

$$i_1 = \sqrt{i_{1r} + i_{1i}}$$

$$i_2 = \sqrt{i_{2r} + i_{2i}}$$

5 donde: i_a , i_b e i_c son las corrientes de fase de la máquina eléctrica a proteger; i_{0r} , i_{1r} e i_{2r} son las componentes de secuencia instantánea reales; i_{0i} , i_{1i} e i_{2i} son las componentes de secuencia instantánea transversales a las anteriores; i_0 , i_1 e i_2 son las componentes de secuencia instantáneas absolutas.

10 14.- Método de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según la reivindicación 12, **caracterizado** porque las etapas se aplican a la medida de tensión de fase o línea en vez de para corrientes o pueden utilizarse ambas medidas de tensión y corriente de forma complementaria para realizar la detección de la falta entre espiras de la máquina eléctrica a proteger.

15 15.- Método de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según la reivindicación 12, **caracterizado** porque la etapa de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo calcula el rizado de la corriente como:

$$\Delta i = \frac{i_{max} - i_{min}}{i_m}$$

20 donde Δi es el rizado de la corriente "i" que se refiere a una corriente instantánea genérica pudiendo ser esta i_1 o i_2 ; i_{max} e i_{min} se refieren a los valores máximo y mínimo de la corriente anterior para un ciclo de i_a , i_b o i_c ; e i_m se refiere al valor medio de la corriente "i".

25 16.- Método de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según la reivindicación 12, **caracterizado** porque la etapa de detección de falta entre espiras en el dominio de la frecuencia compara la componente de segundo armónico de la corriente i_1 o i_2 , obtenida de un proceso de conversión como puede ser una transformada rápida de Fourier, en ventanas sucesivas no solapadas entre ellas y utiliza la diferencia
30 convertida a decibelios tal que:

$$A_i = 20 \cdot \log \left(\frac{i_{s(k=2)}}{i_{s(k=1)}} \right) - 20 \cdot \log \left(\frac{i_{p(k=2)}}{i_{p(k=1)}} \right)$$

donde: A_i es la diferencia en decibelios entre el segundo armónico ($k=2$) normalizado respecto a su primer armónico de la corriente i_s , que es la corriente de la ventana sucesiva, y el segundo armónico ($k=2$) normalizado respecto al primer armónico de la corriente i_p , que es la corriente de la ventana anterior, para i_1 o i_2 .

17.- Método de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según la reivindicación 12, **caracterizado** porque la etapa de detección de falta entre espiras en el dominio del tiempo calcula el rizado de la tensión como:

$$\Delta u = \frac{u_{max} - u_{min}}{u_m}$$

donde Δu es el rizado de la tensión “ u ” que se refiere a una tensión instantánea genérica pudiendo ser esta u_1 o u_2 ; u_{max} e u_{min} se refieren a los valores máximo y mínimo de la tensión anterior para un ciclo de u_a , u_b o u_c ; e u_m se refiere al valor medio de la tensión “ u ”.

18.- Método de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según la reivindicación 12, **caracterizado** porque la etapa de detección de falta entre espiras en el dominio de la frecuencia compara la componente de segundo armónico de la tensión u_1 o u_2 , obtenida de un proceso de conversión como puede ser una transformada rápida de Fourier, en ventanas sucesivas no solapadas entre ellas y utiliza la diferencia convertida a decibelios tal que:

$$A_u = 20 \cdot \log \left(\frac{u_{s(k=2)}}{u_{s(k=1)}} \right) - 20 \cdot \log \left(\frac{u_{p(k=2)}}{u_{p(k=1)}} \right)$$

donde: A_u es la diferencia en decibelios entre el segundo armónico ($k=2$) normalizado respecto a su primer armónico de la tensión u_s , que es la tensión de la ventana sucesiva, y el segundo armónico ($k=2$) normalizado respecto al primer armónico de la tensión u_p , que es la tensión de la ventana anterior, para u_1 o u_2 .

19.- Método de detección de faltas entre espiras en máquinas eléctricas de corriente alterna según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 18,

caracterizado porque utiliza la medida de tensión y corriente conjuntamente para estimar la carga de la máquina para evitar disparos indeseados, considerando válidos entonces los disparos que sobrepasen los umbrales T1 y T2 si no se ha detectado una variación de la carga durante el proceso.

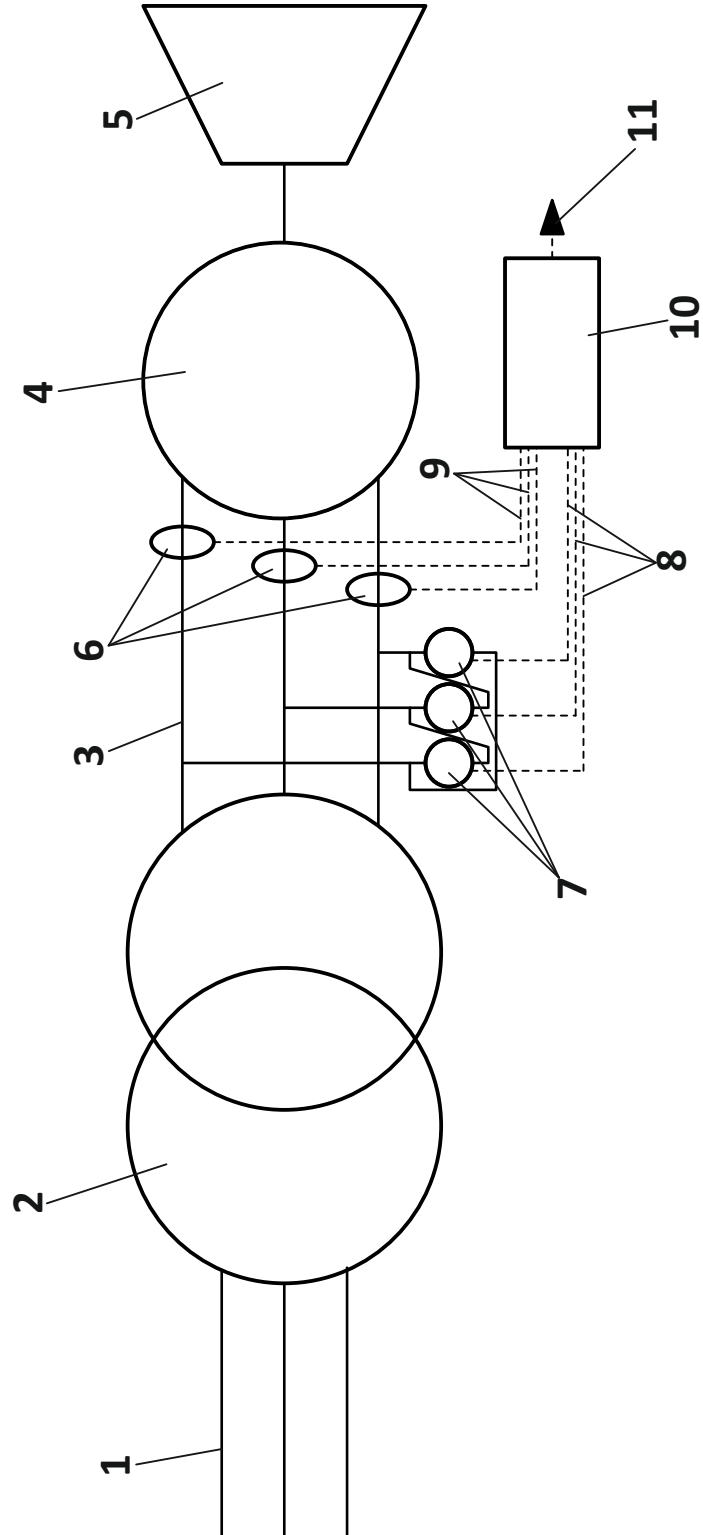


FIG. 1

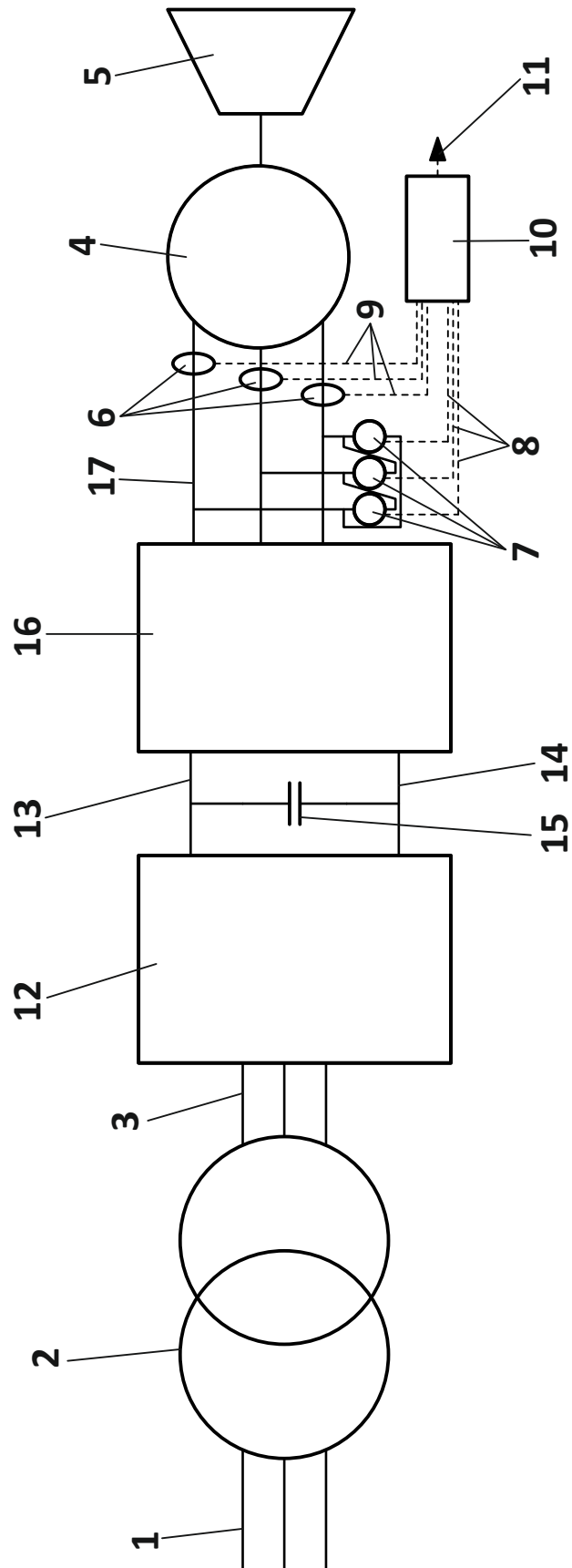


FIG. 2

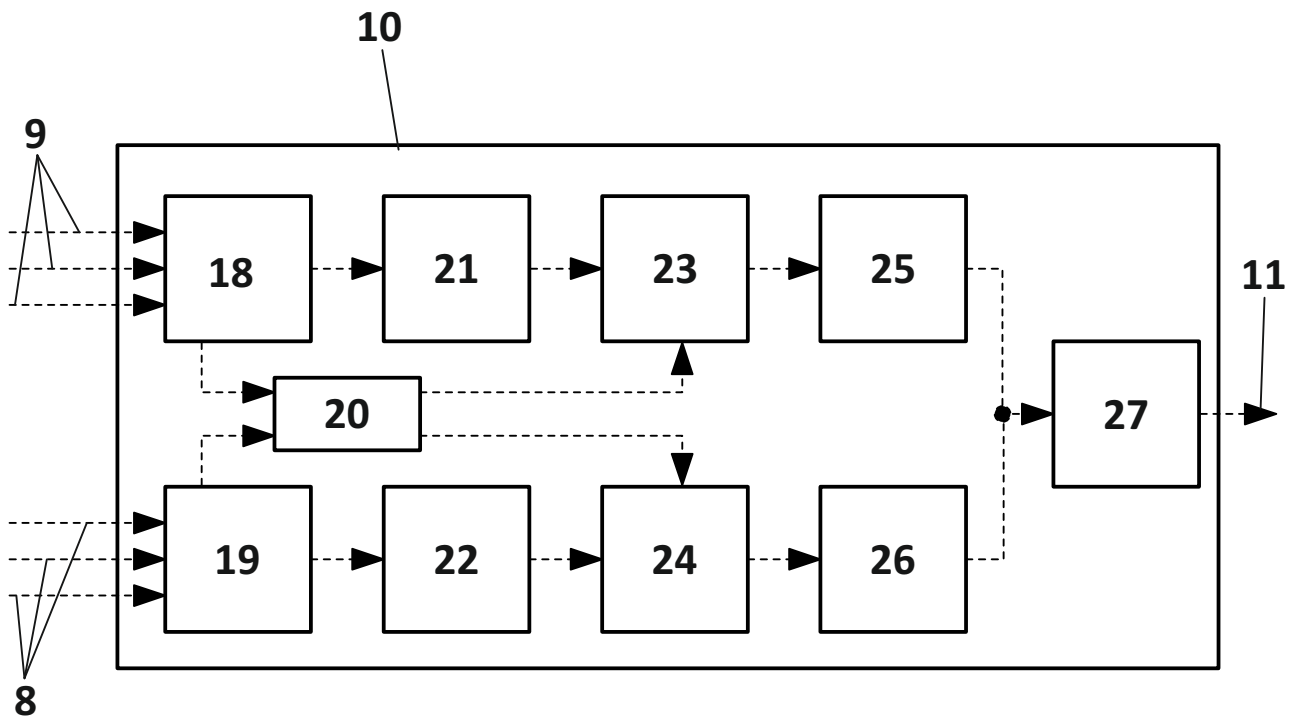


FIG. 3

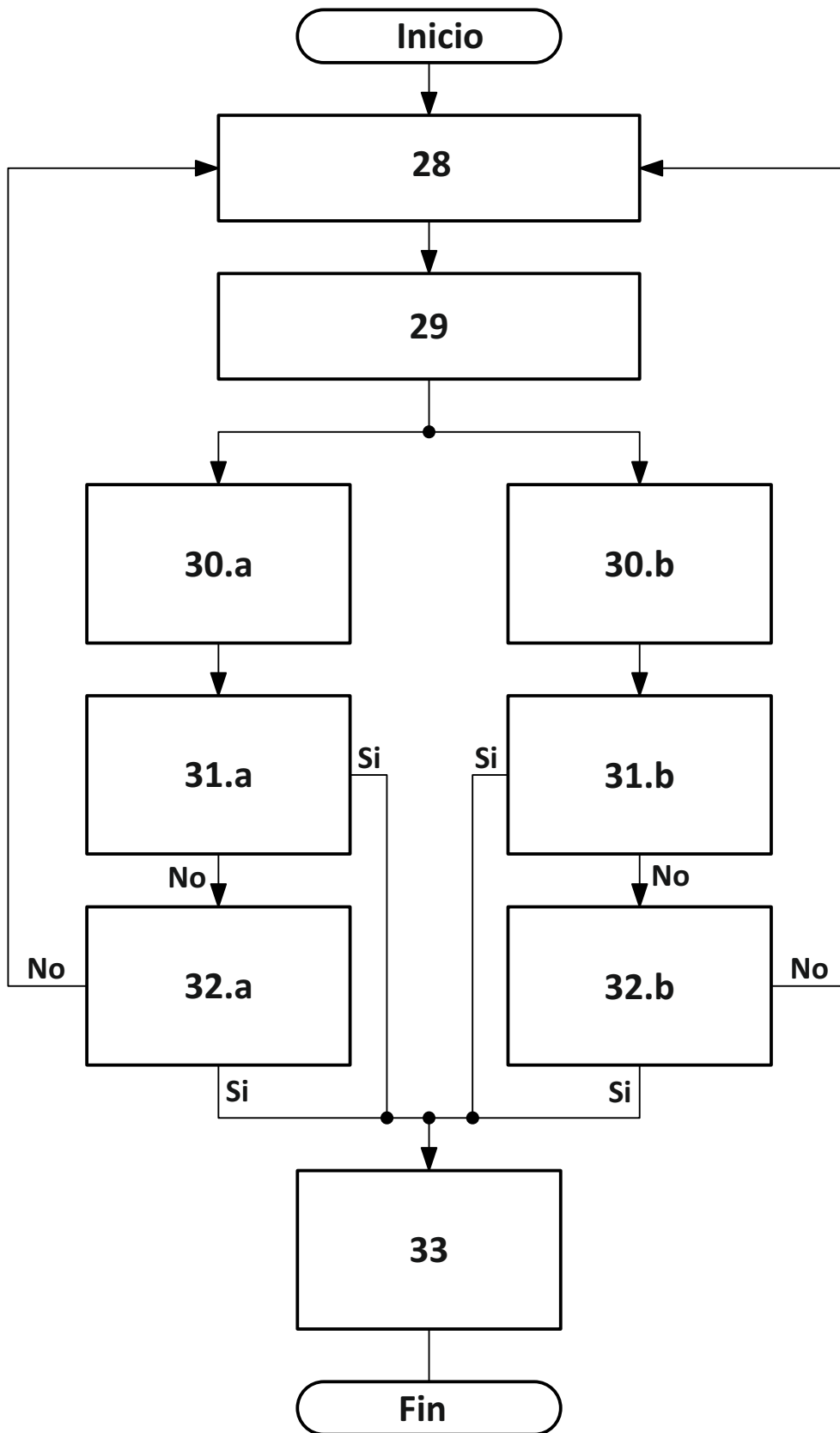


FIG. 4

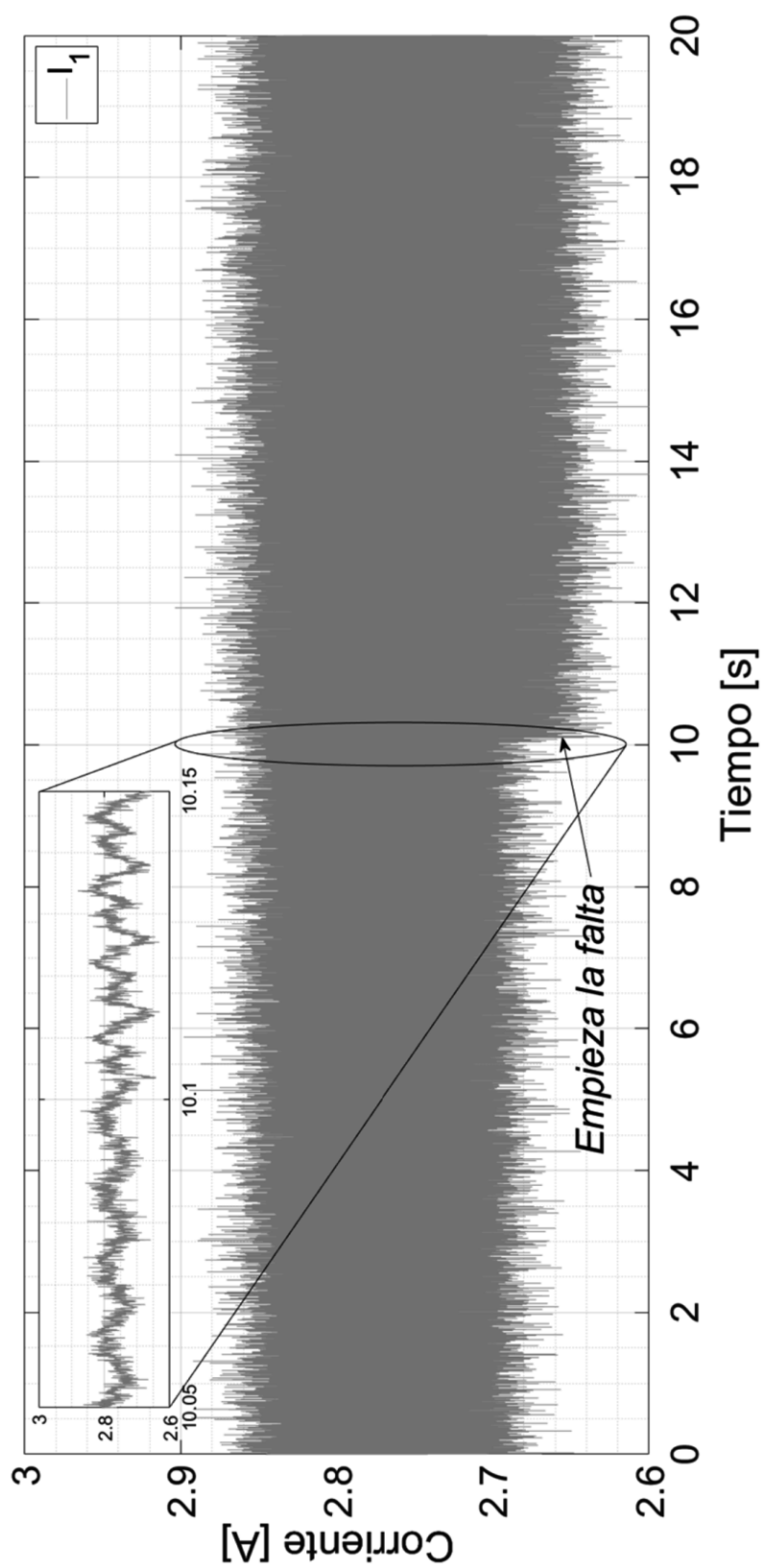
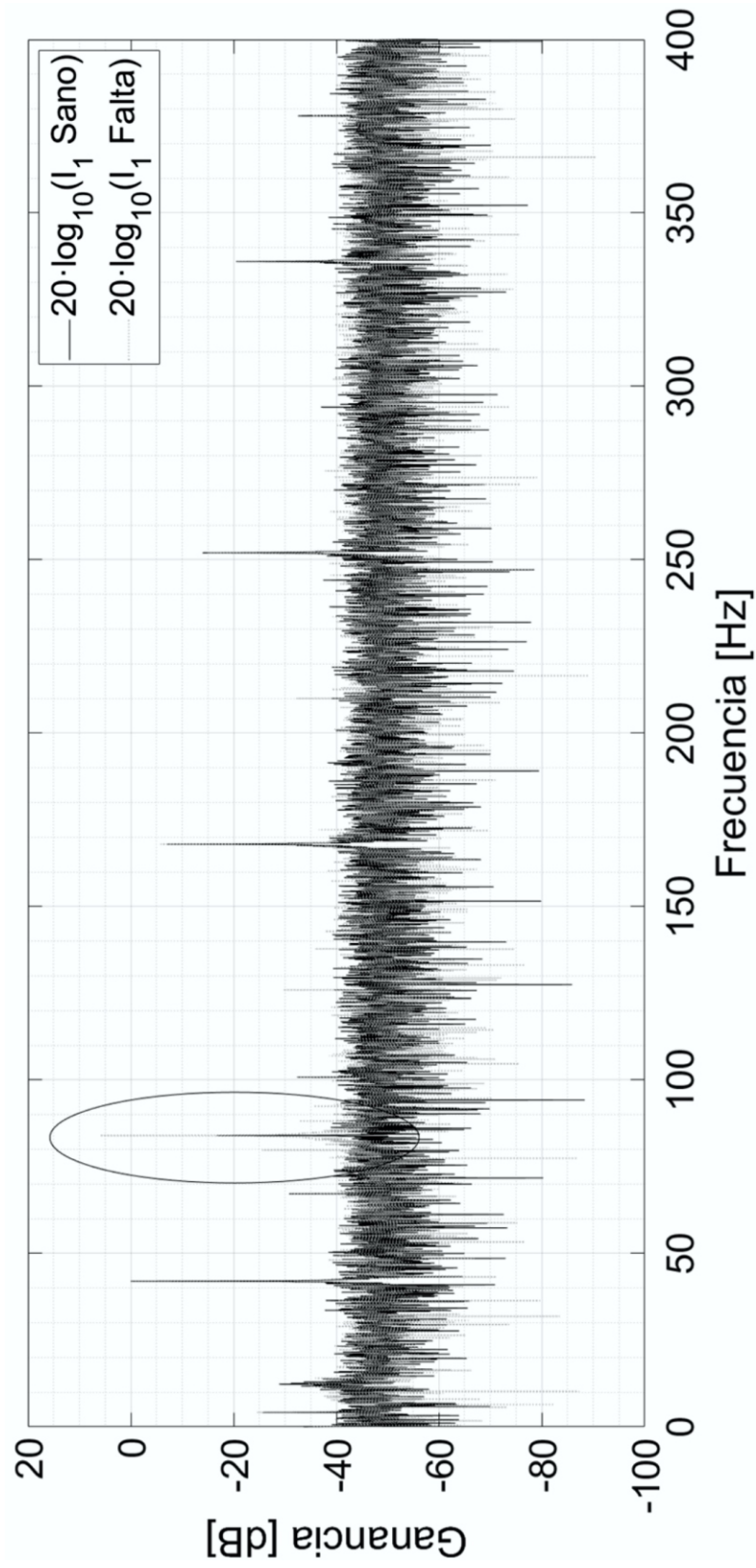


FIG. 5.a

**FIG. 5.b**



- ②1 N.º solicitud: 202530121
②2 Fecha de presentación de la solicitud: 17.02.2025
③2 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤1 Int. cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤6 Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	CN 117074937 A (UNIV TONGJI) 17/11/2023, página 6, párrafos 4, 7, 8, 11; página 7, párrafos 12, 13, 15, 29, 30; página 9, párrafo 73; reivindicación 1.	1-2, 6, 9-11, 12, 14, 19
Y		3-5, 7-8, 15-18
Y	EP 4199346 A1 (EATON INTELLIGENT POWER LTD) 21/06/2023, resumen, figura 5-7; página 3, párrafo 9.	3, 7, 15, 17
A		1-2, 12-13
Y	XU YONGXIANG et al.: "An Inter-Turn Short-Circuits Fault Detection Strategy Considering Inverter Nonlinearity and Current Measurement Errors for Sensorless Control of SPMSM". IEEE Transactions on Industrial Electronics. IEEE, 10/11/2021, Vol. 69, Nº 11, páginas 11709-11722 [en línea] [recuperado el 10/12/2025]. Recuperado de Internet <URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9612106 >, ISSN 0278-0046, ISSN 1557-9948 (electronic), <DOI: 10.1109/TIE.2021.3125653>, Todo el documento.	4-5, 8, 16, 18
A	OTAVA, L.: "Implementation of PMSM Inter-turn Short Fault Detection Using Frequency Analysis of Stator Currents". IFAC-PapersOnLine. Elsevier B.V., 23/12/2016, Vol. 49, Nº 25, páginas 86-91 [en línea] [recuperado el 16/12/2025]. Recuperado de Internet <URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316326519 >, ISSN 2405-8963 (electronic), <DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.12.015>, título, página 1-2; punto 2; página 2, expresión 2.	1-2, 4-5, 8, 12-13

Categoría de los documentos citados X: de particular relevancia Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría A: refleja el estado de la técnica	O: referido a divulgación no escrita P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud
---	---

El presente informe ha sido realizado ☒ para todas las reivindicaciones ☐ para las reivindicaciones nº:
--

Fecha de realización del informe 22.12.2025	Examinador J. Gómez-Escalonilla Torres	Página 1/2
--	---	---------------------------------

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

G01R31/00 (2006.01)**H02K11/20** (2016.01)**H02P29/024** (2016.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01R, H02K, H02P

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INTERNET, LNP