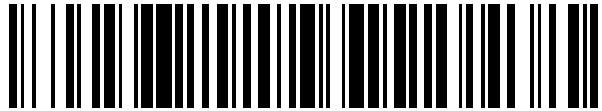


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 426 970**

51 Int. Cl.:

G01R 31/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.01.2010 E 10704031 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2013 EP 2394183**

54 Título: **Sistema de identificación robusto de faltas entre espiras de un estator en línea**

30 Prioridad:

03.02.2009 US 365114

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

28.10.2013

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**PREMERLANI, WILLIAM JAMES;
RAMACHANDRAPANICKER, SOMAKUMAR;
TIWARI, ARVIND KUMAR;
SEN, BHASKAR;
KASZTENNY, BOGDAN Z. y
BANERJEE, ARIJIT**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 426 970 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

Sistema de identificación robusto de faltas entre espiras de un estator en línea

Antecedentes

5 La invención se refiere, en general, a la detección de faltas entre espiras en el estator de motores de inducción de corriente alterna (CA).

Los motores de inducción de CA se utilizan en una amplia gama de aplicaciones y procesos. Un motor de inducción de CA normalmente incluye una porción estacionaria, un "estator", y una porción rotativa, un "rotor". En un motor de CA trifásico, se aplica corriente al estator para inducir un campo magnético, haciendo que el rotor gire y genere energía mecánica. El estator puede incluir cualquier número de "devanados", o polos enrollados que llevan la corriente necesaria para inducir el campo magnético. Estos devanados también pueden estar caracterizados por las "espiras" en los devanados.

En muchos ámbitos, los devanados del estator están sometidos a cortocircuitos entre las espiras de los devanados, lo que comúnmente se denomina "faltas entre espiras". Dependiendo del material utilizado para los devanados y el aislamiento, pueden producirse cualquier número o tipo de faltas. Tales faltas pueden ser mecánicas, químicas, o eléctricas, y pueden ser el resultado de la degradación del aislamiento, del material del devanado, de un defecto de fabricación, etc. Estas faltas entre espiras dan como resultado gradualmente faltas mayores de los devanados y eventualmente dan como resultado una avería que lleva al reemplazo o reparación de componentes del motor o del propio motor. La reparación o el reemplazo del motor, o de componentes del motor, puede ser imprevisible y crear un tiempo de parada no deseado de la aplicación o del proceso que esté utilizando el motor cuando se ponga el motor fuera de servicio.

El documento US 5514978 describe un detector de faltas entre espiras para estator en el cual se miden las formas de onda de la corriente y la tensión del motor, y se convierten en formas de onda de corriente y tensión digitalizadas. Se aplica una transformación discreta de Fourier ponderada a las formas de onda de corriente y tensión digitalizadas para obtener unos fasores de corriente y de tensión de secuencia negativa, y se utilizan los fasores de corriente y de tensión de secuencia negativa para determinar la existencia de una falta entre espiras.

Breve descripción

Se proporciona un procedimiento para determinar faltas entre espiras en un motor de inducción. El procedimiento incluye determinar una tensión de secuencia negativa, determinar una corriente de secuencia negativa y una corriente de secuencia positiva, determinar una impedancia de secuencia negativa, determinar una impedancia de retroacoplamiento normalizada, en el cual la impedancia de retroacoplamiento normalizada comprende una impedancia diferencial positiva a negativa normalizada por la impedancia de secuencia negativa o la impedancia de secuencia positiva, y determinar si la impedancia de retroacoplamiento normalizada indica la presencia de una falta entre espiras.

Se proporciona un sistema para determinar faltas entre espiras en un motor de inducción que incluye un dispositivo, tal como un relé protector o un contador, acoplado al motor de inducción y configurado para determinar una tensión de secuencia negativa, una corriente de secuencia negativa, una tensión de secuencia positiva y una corriente de secuencia positiva, en el cual el dispositivo incluye una memoria. La memoria incluye instrucciones para determinar una impedancia de retroacoplamiento normalizada, en el cual la impedancia de retroacoplamiento normalizada comprende una impedancia diferencial positiva a negativa normalizada por una impedancia de secuencia negativa o una impedancia de secuencia positiva, y la determinación de la impedancia de retroacoplamiento normalizada indica la presencia de una falta entre espiras.

Dibujos

Estos y otros aspectos, características, y ventajas de la presente invención se comprenderán mejor tras la lectura de la siguiente descripción detallada, con referencia a los dibujos adjuntos en los cuales los mismos caracteres representan las mismas partes a través de los dibujos, en los cuales:

La FIG. 1 es una ilustración esquemática en perspectiva de un motor de inducción de acuerdo con una realización de la presente invención;

La FIG. 2 es un diagrama de bloques de un sistema que incluye el motor de inducción de la FIG. 1 de acuerdo con una realización de la presente invención;

50 La FIG. 3 es un diagrama que ilustra las tensiones y corrientes del devanado principal de estator de un devanado general polifásico;

La FIG. 4 es un gráfico de la relación entre las faltas entre espiras con impedancia de secuencia negativa de acuerdo con una realización de la presente invención;

La FIG. 5 representa un proceso para determinar una falta entre espiras de estator en una realización de la presente invención; y

5 La FIG. 6 representa un proceso para responder ante una falta entre espiras de estator de acuerdo con una realización de la presente invención.

Descripción detallada

La FIG. 1 es una ilustración esquemática en perspectiva de un motor 10 de inducción. La FIG. 1 se proporciona únicamente con fines ilustrativos, y la realización de la presente invención no está limitada a ningún motor de inducción específico, o a ninguna configuración del mismo. En el ejemplo ilustrado, el motor 10 incluye un conjunto 12 de rotor, que incluye un eje 14 del rotor que se extiende a través de un núcleo del rotor. El conjunto 12 de rotor, junto con el eje 14, puede girar dentro del conjunto 16 de estator. Unos conjuntos 18 de cojinetes que rodean el eje 14 del rotor pueden facilitar dicha rotación dentro del conjunto 16 de estator. El conjunto 16 de estator incluye una pluralidad de devanados 19 del estator que se extienden circunferencialmente alrededor del eje 14 del rotor, y axialmente a lo largo del mismo, a través del conjunto 16 de estator. Durante el funcionamiento, un campo magnético giratorio inducido en los devanados 19 del estator reacciona con la corriente inducida en el conjunto 12 de rotor para hacer girar el conjunto 12 de rotor, convirtiendo la energía eléctrica en energía mecánica entregada a través del eje 14. En algunas realizaciones, el motor 10 es un motor síncrono, y en otras realizaciones, el motor 10 es un motor asíncrono. Los motores síncronos giran exactamente a la frecuencia de la fuente multiplicada por el número de pares de polos, mientras que los motores asíncronos presentan una frecuencia más lenta caracterizada por la presencia de deslizamiento.

Los devanados 19 del estator pueden ser de cualquier material adecuado, tal como hilo de cobre, y pueden incluir aislamiento entre los devanados y otras partes del conjunto 16 de estator. Los devanados 19 pueden ser susceptibles a una degradación química, mecánica, o eléctrica que afecte al rendimiento del conjunto 16 de estator, lo que a su vez afectará al conjunto 12 de rotor y a la energía entregada por el motor. Los defectos de fabricación también pueden causar un bajo rendimiento de los devanados 19. Las faltas entre espiras de los devanados 19 pueden interferir con el flujo de la corriente y el campo magnético inducidos en el conjunto 16 de estator. Aunque el funcionamiento del motor 10 se explica con un sencillo diagrama, los ejemplos del motor 10 no están limitados a este diseño sencillo particular. También son aplicables otros diseños más complicados y pueden beneficiarse de las técnicas analizadas en detalle a continuación.

La FIG. 2 es un diagrama de bloques de un sistema 20 que incluye el motor 10 de inducción de la FIG. 1. El motor 10 de inducción puede estar acoplado a una fuente 21 de energía eléctrica trifásica, tal como una red eléctrica de CA u otra fuente de electricidad de CA. La electricidad de CA trifásica se suministra al motor 10, tal como indican las líneas 22. Para controlar y monitorizar el motor 10, un dispositivo 24, tal como un relé, un contador, o cualquier otro dispositivo adecuado, puede estar acoplado al motor 10. Debe observarse que el dispositivo 24 puede incluir componentes de ordenador, o ser un ordenador. Por ejemplo, tal como se representa en la FIG. 2, el dispositivo 24 incluye un procesador 26 y una memoria 28. La memoria 28 puede ser cualquier memoria volátil, memoria no volátil adecuadas, o una combinación de las mismas. La memoria 28 puede almacenar cualesquiera parámetros, algoritmos, u otros datos para controlar y monitorizar el motor 10, y permitir el acceso a estos datos mediante el procesador 26.

El dispositivo 24 puede monitorizar diversos parámetros del motor 10 de inducción. Por ejemplo, el dispositivo 24 puede estar acoplado a diversos componentes de monitorización, tales como sensores, transformadores, etc., del motor 10 que monitoricen la corriente, la tensión, o cualquier otro parámetro. Tal como indican las líneas 30, el dispositivo 24 puede recibir la corriente de fase desde el motor 10. Adicionalmente, tal como indican las líneas 32, el dispositivo 24 puede recibir la tensión de fase desde el motor 10. Debe observarse que pueden incluirse diversos componentes de procesamiento de señales en el dispositivo 24 o entre el motor 10 y el dispositivo 24, tales como acondicionadores, amplificadores, filtros de señales, etc. El dispositivo 24 también puede incluir un interruptor 25 para encender y apagar el motor. Tal como se explica adicionalmente a continuación, el dispositivo 24 puede apagar el motor 10 mediante el interruptor 25 en respuesta a una falta entre espiras. El dispositivo 24 también puede incluir una pantalla 27. La pantalla 27 puede incluir capacidad de representación visual y/o de audio.

Tal como podrá apreciarse, el dispositivo 24 también puede convertir los parámetros trifásicos recibidos a componentes simétricos, p. ej., componentes (p) de secuencia positiva, componentes (n) de secuencia negativa, y componentes (0) de secuencia nula. Por ejemplo, cada fasor para corriente trifásica I_a , I_b , y I_c puede convertirse en componentes simétricos I_p , I_n , y I_0 . Similarmente, cada fasor de las tensiones trifásicas V_a , V_b , V_c puede convertirse en componentes simétricos V_p , V_n , V_0 .

Las FIGS. 3-6 ilustran técnicas para determinar faltas entre espiras del conjunto 16 de estator del motor 10. En una realización, una impedancia de retroacoplamiento normalizada puede determinarse como una indicación del número de faltas entre espiras en el conjunto 16 de estator. Tal como se describe adicionalmente a continuación, la impedancia de retroacoplamiento normalizada puede determinarse a partir de diversos parámetros del motor 10, tal como la tensión de secuencia negativa, la corriente de secuencia negativa, la corriente de secuencia positiva, la tensión de secuencia positiva y la impedancia de secuencia negativa.

La FIG. 3 representa un devanado principal 34 de estator de un devanado polifásico, que ilustra las tres tensiones de fase, V_n , V_b , V_c , y las corrientes trifásicas I_a , I_b , I_c . Tal como podrá apreciarse, la relación entre las tensiones, las corrientes y las impedancias de un devanado trifásico puede expresarse tal como sigue:

$$\begin{aligned} V_a &= Z_{aa}I_a + Z_{ab}I_b + Z_{ac}I_c \\ V_b &= Z_{bb}I_b + Z_{ba}I_a + Z_{bc}I_c \\ V_c &= Z_{cc}I_c + Z_{ca}I_a + Z_{cb}I_b \end{aligned} \quad (1)$$

en donde

V_a , V_b , V_c son las tensiones para las fases a, b, y c

I_a , I_b , I_c son las tensiones para las fases a, b, y c

Z_{aa} , Z_{bb} , Z_{cc} son la impedancia para las fases a, b, y c, y

Z_{aa} , Z_{ba} , Z_{ac} , Z_{ca} , Z_{bc} , y Z_{bc} son las impedancias mutuas entre las fases a y b, las fases a y c, y las fases b y c.

Aplicando la teoría de las componentes simétricas a la Ecuación 1, la relación entre las componentes simétricas de tensión, corriente, e impedancia puede expresarse tal como sigue:

$$\begin{pmatrix} V_p \\ V_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{pp} & Z_{pn} \\ Z_{np} & Z_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_p \\ I_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

en donde:

V_p es la tensión de secuencia positiva

V_n es la tensión de secuencia negativa

I_p es la corriente de secuencia positiva

I_n es la corriente de secuencia negativa

Z_{pp} es la impedancia de secuencia positiva

Z_{nn} es la impedancia de secuencia negativa

Z_{np} es la impedancia diferencial negativa a positiva

Z_{pn} es la impedancia diferencial positiva a negativa.

Para un motor 10 ideal, los elementos fuera de la diagonal de la Ecuación 2 son cero, lo que significa circuitos de componente de secuencia positiva y negativa desacoplados en el motor 10. En base a la Ecuación 2, la tensión de secuencia negativa puede determinarse como sigue:

$$V_n = Z_{nn}I_n + Z_{np}I_p \quad (3)$$

Así, en base a la Ecuación 3, la impedancia de retroacoplamiento normalizada con respecto a la impedancia Z_{nn} de secuencia negativa puede determinarse como sigue:

$$\frac{Z_{np}}{Z_{nn}} = \frac{\left(\frac{V_n}{Z_{nn}} - I_n\right)}{I_p} \quad (4)$$

en donde

- 5 Z_{np}/Z_{nn} es la impedancia de retroacoplamiento normalizada con respecto a la impedancia de secuencia negativa.

En otra realización, la impedancia de retroacoplamiento normalizada puede normalizarse con respecto a la impedancia de secuencia positiva. La impedancia de retroacoplamiento normalizada con respecto a la impedancia de secuencia positiva puede determinarse como sigue:

$$\frac{Z_{np}}{Z_{pp}} = \frac{(V_n - Z_{nn}I_n)}{V_p} \quad (5)$$

- 10 en donde

Z_{np}/Z_{pp} es la impedancia de retroacoplamiento normalizada con respecto a la impedancia de secuencia positiva.

La impedancia de retroacoplamiento normalizada con respecto a la impedancia de secuencia positiva puede utilizarse, además de la impedancia de retroacoplamiento normalizada con respecto a la impedancia de secuencia negativa, para mejorar adicionalmente la detección de una falta entre espiras en el estator 16.

- 15 La FIG. 4 es un gráfico 40 de la relación entre la impedancia de retroacoplamiento normalizada (con respecto a la impedancia de secuencia negativa) y el número de faltas entre espiras. El eje Y del gráfico 40 es la impedancia de retroacoplamiento normalizada, Z_{np}/Z_{nn} , y el eje X es el número de faltas entre espiras que pueden estar presentes. Tal como se representa en la FIG. 4, un primer punto 42 corresponde a un Z_{np}/Z_{nn} de aproximadamente 0,02 e indica un motor "saludable", p. ej., un motor en el que no es probable que haya faltas entre espiras. Un segundo punto 44 corresponde a una impedancia de retroacoplamiento normalizada de aproximadamente 0,025, que indica la presencia de aproximadamente una falta entre espiras. Un tercer punto 46 corresponde a una impedancia de retroacoplamiento normalizada de aproximadamente 0,045, que indica la presencia de aproximadamente dos faltas entre espiras. Tal como se ilustra en el gráfico 40, un aumento de la impedancia de retroacoplamiento normalizada con respecto al valor "saludable" del primer punto 42 corresponde a un aumento del número probable de faltas entre espiras del motor 10. Comparando la impedancia de retroacoplamiento normalizada con estos valores correlacionados, puede determinarse una indicación del número y/o la gravedad de faltas entre espiras.

- 25 Tal como se ha descrito anteriormente en las Ecuaciones 2-5, un parámetro utilizado para la determinación de la impedancia de retroacoplamiento normalizada es la secuencia negativa I_{nn} . La impedancia Z_{nn} de secuencia negativa puede determinarse utilizando una cualquiera de las siguientes técnicas, o una combinación de las mismas: 1) computación utilizando parámetros de máquina; 2) medición de la impedancia de secuencia negativa directamente durante la puesta en servicio mediante la creación deliberada de un desequilibrio; o 3) determinación heurística de la impedancia de secuencia negativa de los parámetros del motor 10.

- 30 En una realización, la determinación heurística puede incluir un análisis de regresión para determinar la relación entre la impedancia Z_{nn} de secuencia negativa y los parámetros del motor 10. En dicha realización, Z_{nn} puede determinarse como una impedancia a rotor parado con una relación que puede expresarse tal como sigue:

$$Z_{nn} = f(\text{HP}, \text{Tensión}, \text{Polo}, \text{frecuencia}, \text{tamaño}) \quad (6)$$

en donde

HP es la potencia nominal en caballos del motor 10

Polo es el número de polos del motor 10

Tensión es la tensión entre líneas del motor 10

frecuencia es la frecuencia del motor 10 y

tamaño es el tamaño del motor 10.

- 5 En tal realización, el análisis de regresión puede dividirse en un primer análisis para máquinas con un bajo HP (inferior o igual a 500HP) y un segundo análisis para máquinas con un elevado HP (mayor de 500HP). En esta realización, la impedancia de secuencia negativa puede expresarse como una función de orden superior no lineal de los parámetros anteriormente mencionados. Por ejemplo, la magnitud de Z_{nn} puede expresarse tal como sigue:

$$Z_{reg} = A + B * HP + C * VLL + D * P + E * HP * VLL + F * HP * P + G * VLL * P + H * HP^2 + I * VLL^2 + J * P^2 \quad (7)$$

- 10 en donde

A, B, C, D, E, F, G, H, I y J son constantes determinadas por el análisis de regresión,

HP es la potencia nominal en caballos del motor

VLL es la tensión entre líneas del motor y

P es el número de polos.

- 15 Similarmente, la fase de Z_{nn} puede determinarse tal como sigue:

$$Z_{ang_reg} = A_1 + B_1 * HP + C_1 * VLL + D_1 * P + E_1 * HP * VLL + F_1 * HP * P + G_1 * VLL * P + H_1 * HP^2 + I_1 * VLL^2 + J_1 * P^2 \quad (8)$$

en donde

$A_1, B_1, C_1, D_1, E_1, F_1, G_1, H_1, I_1$ y J_1 son constantes determinadas por el análisis de regresión.

- 20 Utilizando las Ecuaciones 6 y 7, puede determinarse la impedancia de secuencia negativa para un motor 10 y almacenarse en la memoria 28 del dispositivo 24. Por consiguiente, la impedancia I_{nn} de secuencia negativa y las componentes simétricas para cada corriente y tensión, derivadas de las mediciones de las tensiones y corrientes del motor 10, permiten determinar las impedancias de retroacoplamiento normalizadas tal como se ha analizado anteriormente en las Ecuaciones 4 y 5.

- 25 La FIG. 5 representa una realización de un proceso 50 para determinar una falta entre espiras en un estator de acuerdo con una realización de la presente invención. El proceso 50 comienza al arrancar el dispositivo 24, p. ej., un relé, un contador, u otro dispositivo adecuado, y el motor 10 (bloque 52). La impedancia Z_{nn} de secuencia negativa a rotor parado puede determinarse (bloque 54) mediante una de las tres técnicas analizadas anteriormente (computación utilizando parámetros de la máquina, medición directa de la impedancia de secuencia negativa, o análisis de regresión de la impedancia de secuencia negativa).

- 30 Las tres tensiones de fase $V_a, V_b,$ y V_c y las corrientes trifásicas $I_a, I_b,$ y I_c se adquieren a partir de los transformadores u otros componentes del motor 10 (bloque 56) y se reciben en el dispositivo 24 u otro dispositivo acoplado al motor 10. Las tensiones y corrientes pueden pasarse a través de un bucle de enganche de fase (PLL) monofásico para obtener la magnitud y el ángulo de cada tensión $V_a, V_b,$ y V_c y de cada corriente $I_a, I_b,$ y I_c (bloque 58). Tal como podrá observarse, puede haber otras técnicas para calcular la magnitud y el ángulo a partir de valores instantáneos. Las realizaciones pueden incluir un PLL o cualquier otra técnica adecuada. La información de magnitud y de fase de cada tensión y corriente puede combinarse para crear unos fasores de corriente y tensión (bloque 60). Tal como se ha mencionado anteriormente, el dispositivo 24 puede aplicar una transformación de secuencia simétrica para convertir las tensiones y corrientes de la fase a-b-c a la trama de secuencia positiva, negativa y nula (bloque 62).

- 40 La impedancia de retroacoplamiento normalizada con respecto a la secuencia negativa y/o la secuencia positiva

5 puede determinarse tal como se ha analizado anteriormente (bloque 64). Utilizando la correlación proporcionada anteriormente en la FIG. 4, la impedancia de retroacoplamiento normalizada (con respecto a la impedancia negativa) Z_{np}/Z_{nn} puede compararse con un umbral (bloque de decisión 66). Si la impedancia de retroacoplamiento normalizada está por debajo de dicho umbral, el proceso 50 puede regresar al funcionamiento normal del motor 10, tal como se ilustra en la línea 68. Si la impedancia de retroacoplamiento normalizada está por encima del umbral, entonces es probable la existencia de una falta entre espiras en el estator, y el dispositivo 24, u otro dispositivo acoplado al motor 10, puede declarar una falta entre espiras en el estator (bloque 70).

10 La FIG. 6 representa una realización de un proceso 80 para determinar y responder a faltas entre espiras en el estator indicadas por la impedancia de retroacoplamiento normalizada. Tal como se ha analizado anteriormente, el comienzo del proceso 80 (bloque 82) puede incluir arrancar el motor 10 y el dispositivo 24. En el proceso 80, la impedancia de secuencia negativa a rotor parado puede determinarse a partir de las fórmulas de regresión presentadas anteriormente en las Ecuaciones 7 y 8 (bloque 84), o cualquier otra técnica mencionada anteriormente. De manera similar a la realización anteriormente analizada, el proceso 80 puede incluir adquirir tensiones y corrientes trifásicas (bloque 86), obtener una magnitud y un ángulo de cada tensión y corriente a través de un PLL monofásico u otras técnicas (bloque 88), y crear fasores a partir de la información de magnitud y de fase (bloque 90).

20 Las componentes simétricas pueden determinarse a partir de las tensiones y corrientes trifásicas (bloque 92), y la impedancia de retroacoplamiento normalizada con respecto a la secuencia negativa y/o la secuencia positiva puede determinarse tal como se ha mencionado anteriormente (bloque 94). En esta realización, la impedancia de retroacoplamiento normalizada (con respecto a la impedancia negativa) Z_{np}/Z_{nn} o Z_{np}/Z_{pp} puede compararse con diferentes umbrales para determinar el número y/o la severidad de las faltas entre espiras. Por ejemplo, pueden utilizarse dos umbrales, denominados Umbral 1 y Umbral 2, en los cuales el Umbral 2 es mayor que el Umbral 1, e indica un mayor número, y/o una mayor gravedad, de faltas entre espiras.

25 La impedancia de retroacoplamiento normalizada puede compararse con el Umbral 2 (bloque de decisión 96), que es indicativo de múltiples, y/o más graves, faltas entre espiras. Si la impedancia de retroacoplamiento normalizada es mayor que el Umbral 2, el proceso 80 puede activar una segunda alarma y desconectar el motor 10, incapacitando el funcionamiento del motor 10 (bloque 98).

30 Si la impedancia de retroacoplamiento normalizada es inferior al Umbral 2, entonces el proceso 80 compara la impedancia de retroacoplamiento normalizada con el Umbral 1 (bloque de decisión 100). Si la impedancia de retroacoplamiento normalizada está por debajo del Umbral 1, entonces puede activarse una primera alarma (bloque 104). Tras activar la primera alarma el proceso 80 continúa normalmente, tal como indica la flecha 106. En otras realizaciones, puede utilizarse cualquier número de umbrales para indicar diversos números y/o gravedades de faltas entre espiras, tal como tres umbrales, cuatro umbrales, cinco umbrales, etc. En algunas realizaciones, la alarma puede ser algo específico al usuario, o una elección del usuario.

35 Aunque en el presente documento se han ilustrado y descrito ciertas características de la invención, a los expertos en la técnica se les ocurrirán muchas modificaciones y cambios. Por lo tanto, debe comprenderse que las reivindicaciones adjuntas pretenden cubrir todas las modificaciones y cambios mencionados para que estén comprendidas dentro del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un procedimiento para determinar faltas entre espiras en un motor (10) de inducción, que comprende:
determinar una tensión (V_n) de secuencia negativa y una tensión (V_p) de secuencia positiva;
determinar una corriente (I_n) de secuencia negativa y una corriente (I_p) de secuencia positiva;
- 5 determinar una impedancia (Z_{nn}) de secuencia negativa del motor (10); y que está **caracterizado por**,
determinar una impedancia de retroacoplamiento normalizada, en el cual la impedancia de retroacoplamiento normalizada es una impedancia diferencial (Z_{np}) positiva a negativa normalizada por la impedancia (Z_{nn}) de secuencia negativa o una impedancia (Z_{pp}) de secuencia positiva; y
determinar si la impedancia de retroacoplamiento normalizada indica la presencia de una falta entre espiras.
- 10 2.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el cual determinar si la impedancia de retroacoplamiento normalizada indica la presencia de una falta entre espiras comprende comparar la impedancia de retroacoplamiento normalizada con un umbral.
- 3.- El procedimiento de la reivindicación 2, que comprende comparar la impedancia de retroacoplamiento normalizada con un primer umbral para indicar una falta entre espiras, con un segundo umbral para indicar dos faltas entre espiras, y con un tercer umbral para indicar tres faltas entre espiras.
- 15 4.- El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende proveer una alarma si la impedancia de retroacoplamiento normalizada indica la presencia de una falta entre espiras.
- 5.- El procedimiento de la reivindicación 3, que comprende proveer una alarma si la impedancia de retroacoplamiento normalizada indica la presencia de una falta entre espiras, una segunda alarma si la impedancia de retroacoplamiento normalizada indica la presencia de dos faltas entre espiras, y una tercera alarma si la impedancia de retroacoplamiento normalizada indica la presencia de tres faltas entre espiras.
- 20 6.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el cual determinar la impedancia de retroacoplamiento normalizada (Z_{nn}) comprende determinar la impedancia (Z_{nn}) de secuencia negativa a partir de una pluralidad de parámetros del motor (10) de inducción.
- 25 7.- El procedimiento de la reivindicación 6, en el cual la pluralidad de parámetros comprende una potencia nominal en caballos del motor (10) de inducción, unos polos del motor (10) de inducción, y una tensión nominal del motor (10) de inducción.
- 8.- Un sistema para determinar faltas entre espiras en un motor (10) de inducción, que comprende:
un dispositivo (24) acoplado al motor (10) de inducción y configurado para determinar una tensión (V_n) de secuencia negativa y una tensión (V_p) de secuencia positiva, una corriente (I_n) de secuencia negativa y una corriente (I_p) de secuencia positiva, y una impedancia (Z_{nn}) de secuencia negativa del motor (10); comprendiendo el dispositivo una memoria (28);
- 30 **caracterizado porque** la memoria (28) comprende instrucciones para:
determinar una impedancia de retroacoplamiento normalizada, en el cual la impedancia de retroacoplamiento normalizada es una impedancia diferencial (Z_{np}) positiva a negativa normalizada por la impedancia (Z_{nn}) de secuencia negativa o una impedancia (Z_{pp}) de secuencia positiva; y
determinar si la impedancia de retroacoplamiento normalizada indica la presencia de una falta entre espiras.
- 35 9.- El sistema de la reivindicación 8, en el cual dispositivo comprende un relé.
- 40 10.- El sistema de la reivindicación 8, en el cual dispositivo comprende un contador.
- 11.- El sistema de la reivindicación 8, en el cual la memoria (28) comprende instrucciones para determinar la impedancia (Z_{nn}) de secuencia negativa a partir de una pluralidad de parámetros del motor de inducción.

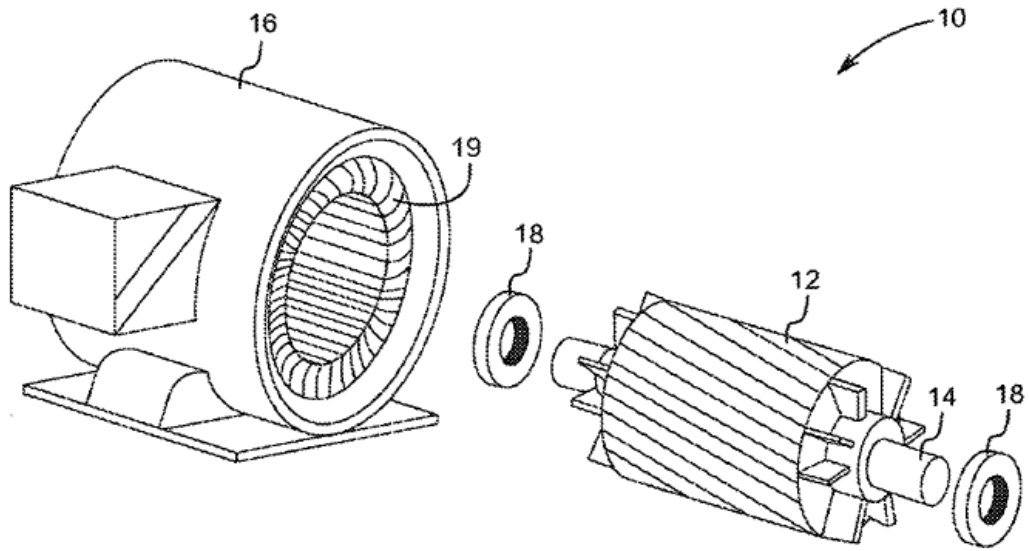


FIG. 1

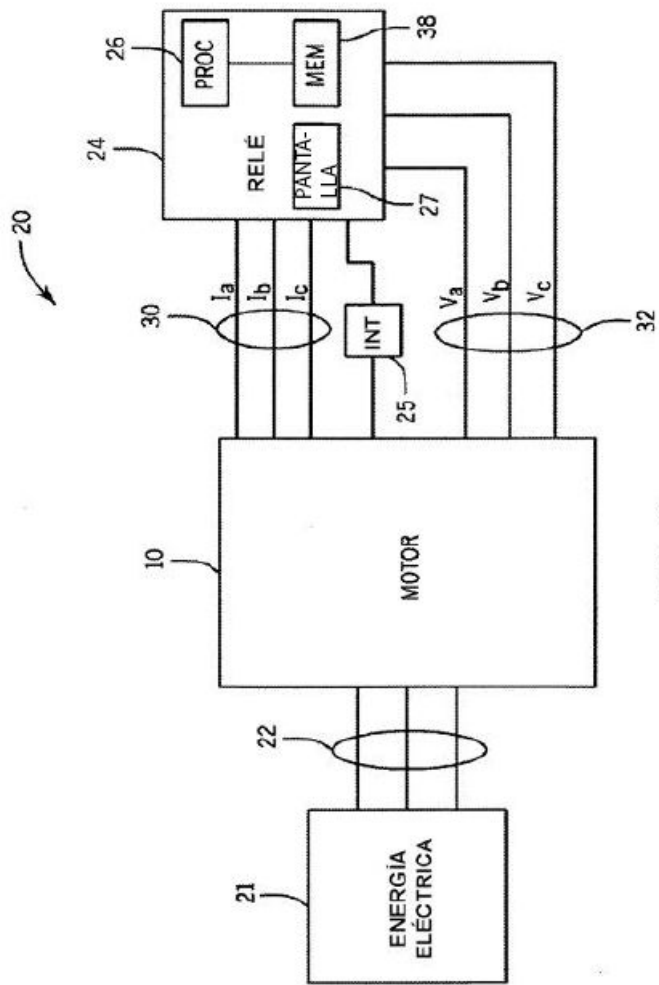


FIG. 2

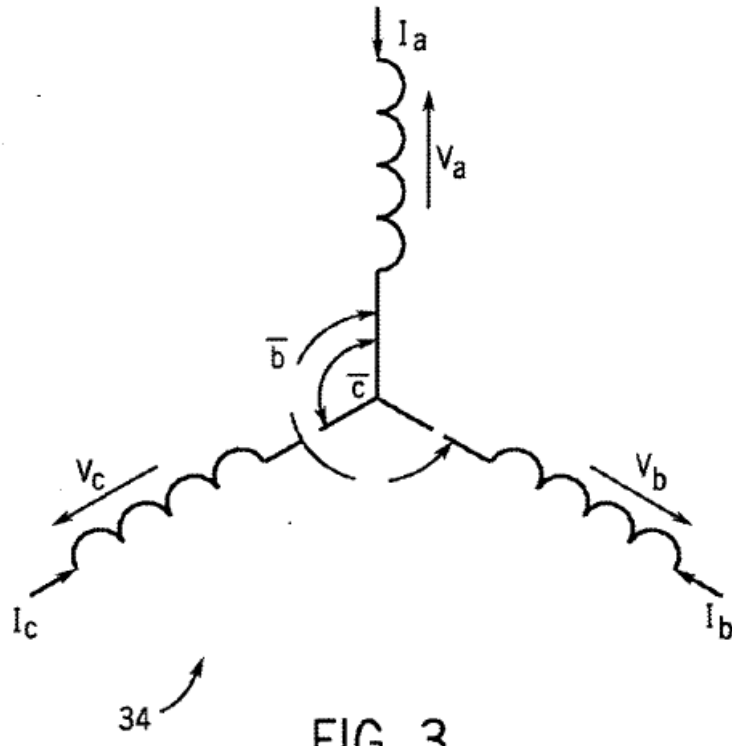


FIG. 3

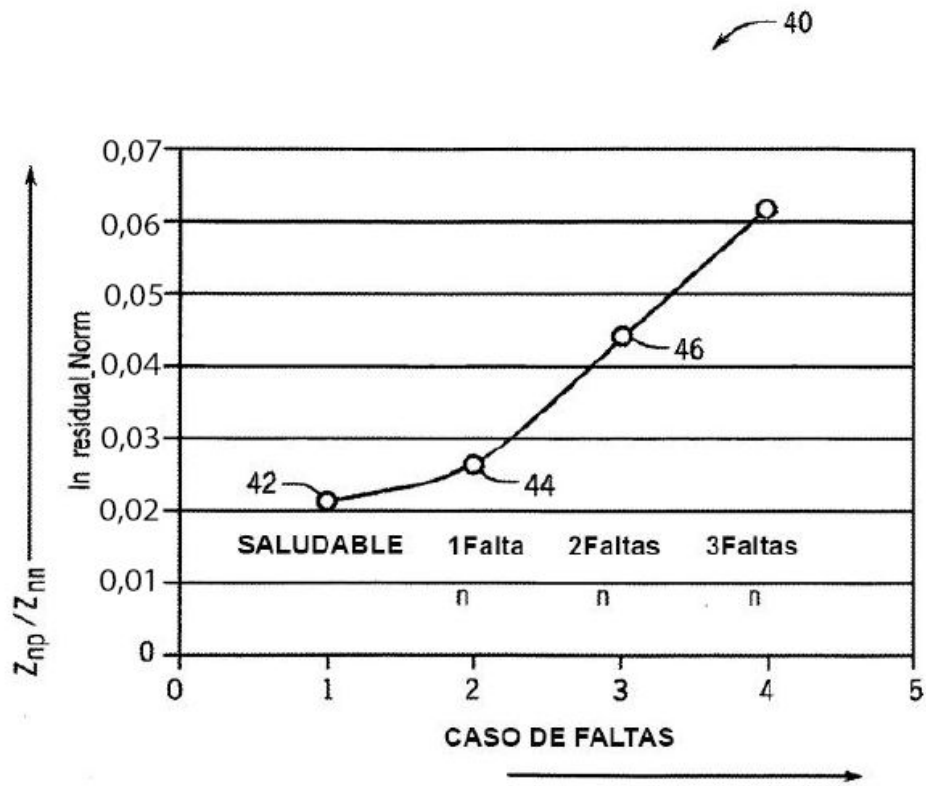


FIG. 4

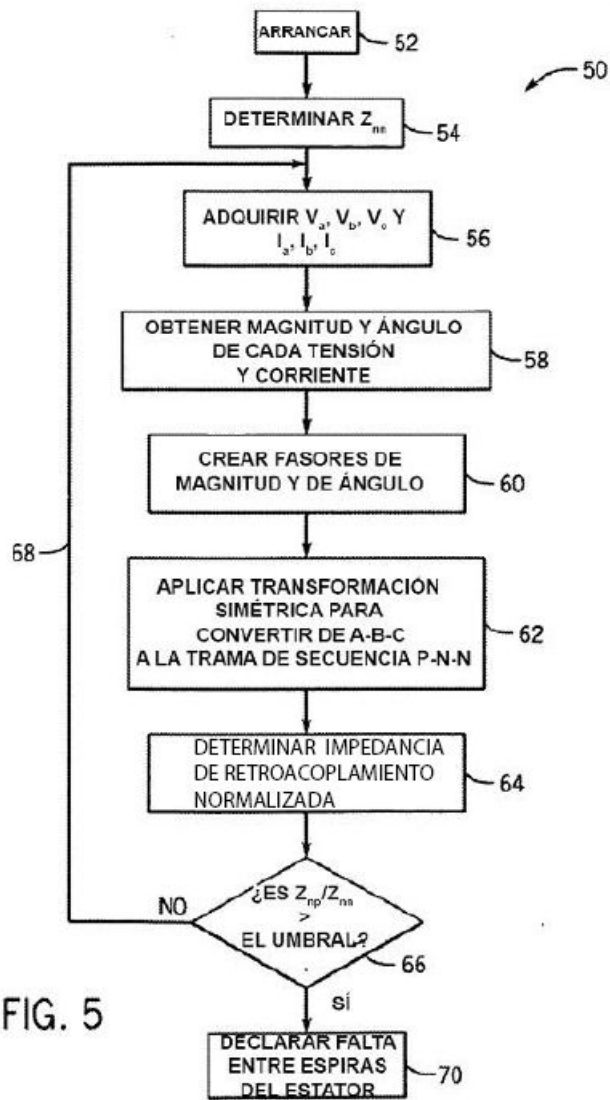


FIG. 5

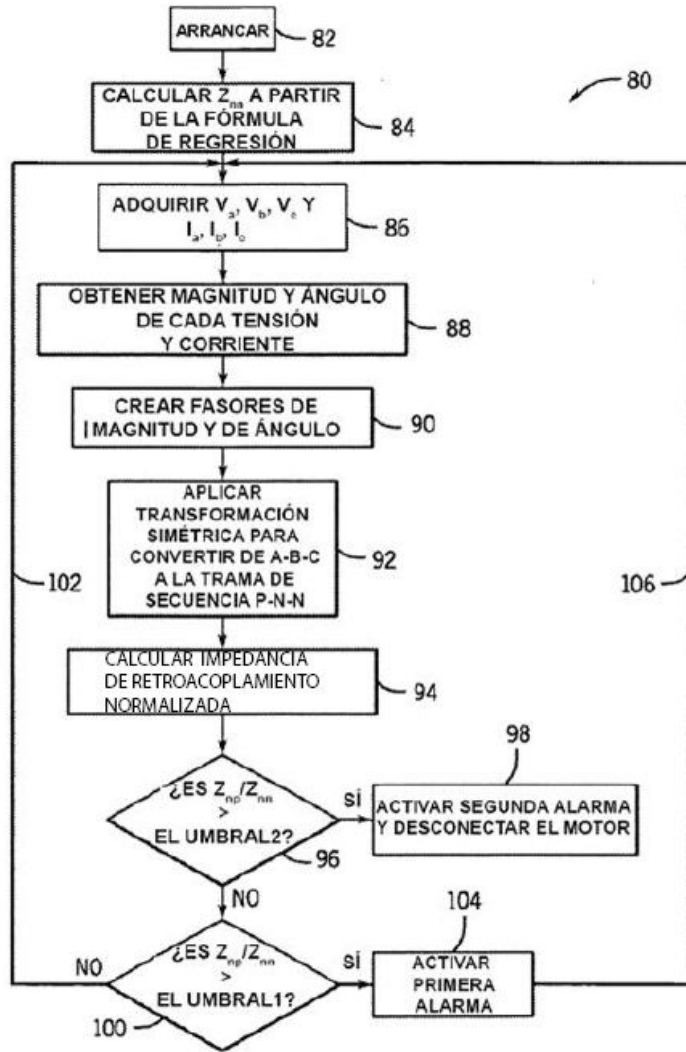


FIG. 6