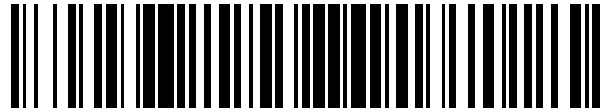


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 758 531**

21 Número de solicitud: 201930969

51 Int. Cl.:

**G01R 31/08** (2010.01)

**H02H 3/26** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

**06.11.2019**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**05.05.2020**

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

**24.11.2020**

Fecha de concesión:

**16.02.2021**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**23.02.2021**

73 Titular/es:

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

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

72 Inventor/es:

**PLATERO GAONA, Carlos Antonio y  
GUERRERO GRANADOS, José Manuel**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

54 Título: **SISTEMA Y MÉTODO DE LOCALIZACIÓN DE FALTAS A TIERRA EN INSTALACIONES DE CORRIENTE ALTERNA**

57 Resumen:

Método y sistema de localización de faltas a tierra en instalaciones eléctricas de corriente alterna basados en la medida de las tensiones ( $U_{in}$ ) y las impedancias ( $Z_i$ ) en cada fase de corriente alterna, y el cociente entre la impedancia ( $Z_{gnd}$ ) y la tensión ( $U_{gnd}$ ), o medida de corriente en caso de tener un sistema rígido a tierra, de un dispositivo de puesta a tierra colocado en un punto neutro que permite calcular la fase que tiene la falta, así como el porcentaje de fallo sobre la impedancia equivalente de dicha fase.

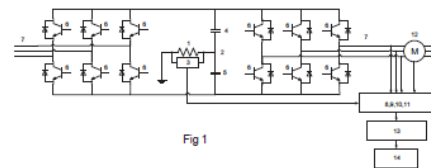


Fig 1

ES 2 758 531 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  
INSTALACIONES DE CORRIENTE ALTERNA**

5

**OBJETO DE LA INVENCIÓN**

La presente invención se refiere a un sistema y método de la localización de faltas a tierra en instalaciones eléctricas de corriente alterna capaz de localizar este tipo de defecto estando en cualquier punto del circuito eléctrico, con este en funcionamiento.

10

El sistema y método de localización de faltas a tierra según la presente invención es de utilidad en instalaciones eléctricas conectadas a una red eléctrica por medio de un transformador que disponga en el secundario de salida para neutro.

15 La presente invención tiene aplicación, por ejemplo y sin carácter limitativo, en el sector de la automoción eléctrica y en el de las energías renovables.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN**

20 Las instalaciones eléctricas deben de disponer de sistemas de protección que las hagan seguras ante todo tipo de faltas para los equipos y las personas. En caso de las faltas a tierra, provocadas habitualmente por un cable pelado que toca con el chasis de la instalación u otro defecto similar, los dispositivos de actuación frente a este tipo de faltas son de variada tecnología no siendo así los dispositivos de detección y diagnóstico destinados a estas.

25

En el campo del diagnóstico, la detección y localización de las faltas a tierra o contra el chasis es complicada debido a los diversos factores que pueden influir en la estimación. Los dispositivos para el diagnóstico son de fundamental importancia para los equipamientos en caso de querer estimar la existencia o no

de una falta y en caso afirmativo, la localización y la gravedad de los daños que esta falta está causando en el sistema en cuestión.

5 En instalaciones eléctricas con configuración de neutro aislado, un punto a tierra no ocasiona corriente de defecto. En caso de tener un detector de faltas instalado en el sistema y esté conectado a tierra, la corriente con un punto a tierra es pequeña debido a la impedancia limitadora de defecto, y en casos de sistemas rígidos a tierra, las faltas a tierra pueden ocasionar sobrecorrientes severas en el sistema al no tener esta impedancia limitadora.

10

La necesidad de detectar un posible defecto se produce por intentar localizar esta derivación lo antes posible, pues si se produce una primera falta a tierra, circula una corriente residual baja por la impedancia limitadora puesta a tierra, pero una segunda falta daría lugar a un fallo en el sistema de gravedad considerable, atendiendo a la magnitud de la corriente residual que circule entre 15 ambos puntos. Esto provocaría un cortocircuito entre algunos elementos de la misma fase o una falta bifásica.

20 En los sistemas de detección de faltas a tierra ya conocidos es habitual disponer de los siguientes medios para la detección y localización de dichas faltas:

- Detección por inyección de corriente alterna de una frecuencia distinta a la de operación entre un punto de la instalación eléctrica y tierra que da lectura de dicha corriente si existe una derivación a tierra.
- Detección por inyección de corriente continua en la instalación eléctrica que da lectura de dicha corriente si existe una derivación a tierra. 25
- Localización por inyección de tensión entre un punto de la instalación eléctrica y tierra en una resistencia de medida que deja de dar lectura o disminuye la misma si existe una derivación a tierra.

Estos sistemas de detección de faltas requieren un componente activo entre el neutro del sistema y la tierra.

5 También existen tecnologías como los relés de mínima impedancia que pueden distinguir en qué punto del sistema se localiza la falta mediante la medición de la corriente de fase y la tensión de fase en un punto del circuito a partir del cual se quiera empezar a localizar y proteger, sin necesidad de introducir fuentes de corriente o tensión al sistema.

10 Estos últimos sistemas de detección de faltas pueden alertar de que hay un defecto y no localizarlo, o en caso de localizarlo no poder operar correctamente si el sistema tiene buses de continua intermedios por no saber diferenciar si el fallo se encuentra aguas abajo o aguas arriba de estos buses.

15 El estado de la técnica correspondiente a la presente invención se describe, en más detalle, en los documentos que siguen a continuación:

PCT/US1995/002802 (15.08.1995) US5661664 A (26.08.1997) ABB Power T&D Company Inc., Raleigh, N.C. ONE-TERMINAL DATA FAULT LOCATION SYSTEM AND PROCESS FOR LOCATING A FAULT.

20

PCT/ES2011/000278 (19.09.2011) WO2012/038564 A2 (29.03.2012) UNIVERSIDAD DE SEVILLA (100.00%) DISPOSITIVO Y MÉTODO PARA LA LOCALIZACIÓN DE FALTAS EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.

25 ES2716482 A1 (12.06.2019) UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (100.00%) SISTEMA Y MÉTODO DE DETECCIÓN DE FALTAS A TIERRA O CONTRA EL CHASIS EN SISTEMAS DE CORRIENTE CONTINUA CON INVERSORES ALIMENTADOS A PARTIR DE BATERÍAS.

P. Tian, C.A. Platero, F. Blázquez and J.M. Guerrero, "Ground Faults Location System for Powertrain of Electric Vehicles", *2019 IEEE 12th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)*, Toulouse, France, 2019, pp. 488-492.

5

En los dos primeros documentos descritos anteriormente es necesario tomar medidas, tanto de intensidad, como de tensión, para la localización de la falta a tierra.

10 A pesar de los sistemas y métodos de detección de faltas a tierra ya conocidos, en el sector existe la necesidad de desarrollar nuevos sistemas y métodos que sean capaces de detectar faltas a tierra en instalaciones eléctricas de corriente alterna independientemente de cuál sea la configuración específica de dicha instalación (monofásica, bifásica, trifásica o configuraciones sucesivas) y de que  
15 dichas instalaciones puedan estar provistas, además, de buses de corriente continua.

Asimismo, es conveniente desarrollar nuevos sistemas y métodos de detección de faltas a tierra, capaces de detectar en qué fase y en qué porcentaje de fase  
20 se produce dicha falta, puesto que eso agilizaría las tareas de reparación y/o mantenimiento. Además, sería ventajoso que dichos sistemas y métodos de detección fuesen capaces de detectar las faltas a tierra utilizando únicamente mediciones de tensión, puesto que esto reduciría de forma considerable su coste de fabricación y/o implantación.

25

**DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención pretende abordar todas las limitaciones, desventajas e inconvenientes de los sistemas y métodos de detección de faltas a tierra de la técnica anterior, descritos anteriormente.

5

Para ello, un primer objeto de la invención se refiere a un sistema de localización de faltas a tierra en al menos una instalación eléctrica de corriente alterna, estando dicha instalación eléctrica provista de al menos una fase de corriente alterna, una conexión a tierra y un punto neutro, caracterizado por que  
10 comprende:

- a) un dispositivo de puesta a tierra, que consiste en un elemento pasivo dispuesto entre el punto neutro de la instalación eléctrica y la conexión a tierra;
- b) al menos un equipo de medida, configurado para medir las siguientes magnitudes:  
15 i) las tensiones de cada fase corriente alterna ( $U_{in}$ ) y calcular el fasor de todas las tensiones de cada fase de corriente alterna como:

$$\underline{U}_{in} = U_{in} \cdot e^{j\theta_{U.in}}$$

$$U_{in} = \sqrt{\frac{1}{T_i} \cdot \sum_{j=0}^{j=n} \left[ \frac{u_{in}^2(t_j) + u_{in}^2(t_{j+1})}{2} \cdot (t_{j+1} + t_j) \right]}$$

$$\theta_{U.in} = \text{atan} \frac{a_{1in}}{b_{1in}}$$

donde:

$T_i$ : es el periodo de la onda de tensión;

20

$u_{in}(t_j)$ : es el valor instantáneo de la onda de tensión de fase de corriente alterna para un instante  $t_j$  dado;

$\theta_{U.in}$ : es el argumento del primer armónico de la onda realizando una transformada rápida de Fourier (FFT);

$a_{1in}$ : es el valor de amplitud del filtro seno de primer armónico de la FFT para la onda de tensión fase-neutro ( $U_{in}$ );

$b_{1in}$ : es el valor de amplitud del filtro coseno de primer armónico de la FFT para la onda de tensión fase-neutro ( $U_{in}$ );

- 5           ii) las impedancias de cada fase de corriente alterna ( $Z_i$ ),
- iii) el valor de  $(\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}})$ , correspondiente al cociente entre la impedancia de puesta a tierra ( $Z_{gnd}$ ), y la tensión ( $U_{gnd}$ ) en el dispositivo de puesta a tierra; y
- 10       c) un equipo de cálculo, configurado para identificar la fase de corriente alterna en la que se produce una falta a tierra por comparación del ángulo entre tensiones, tal que:

$$\theta_{U_{gnd}} - \theta_{U_{i.n}} = 180^\circ \pm \Delta\theta_{gnd}$$

donde:

15            $\theta_{U_{gnd}}$ : es la fase de la tensión leída en bornes del equipo de medida;

$\theta_{U_{i.n}}$ : es la fase de la tensión que porta la falta a tierra;

$\Delta\theta_{gnd}$ : es la impedancia propia del equipo de medida;

20       estando configurado además el equipo de cálculo para calcular el porcentaje ( $k$ ) sobre la impedancia de fase de corriente alterna donde se produce la falta a tierra, siendo dicho porcentaje ( $k$ ):

$$k = -\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}} \cdot \sum_{i=a}^N \frac{U_{in}}{Z_i}$$

donde

$k$ : es el porcentaje en tanto por unidad sobre la impedancia de fase donde se produce la falta;

$U_{in}$ : es la tensión de la fase de corriente alterna "i";

$Z_i$ : es la impedancia de la fase de corriente alterna "i";

N es el número total de fases de la instalación;

$Z_{gnd}$  es la impedancia del dispositivo puesto a tierra; y

5  $U_{gnd}$  es la tensión leída en la impedancia del dispositivo puesto a tierra.

10  $\Delta\theta_{gnd}$  es la impedancia propia del equipo de medida porque, aplicando la ley de Ohm, puede obtenerse esta variable a partir de la corriente residual y la tensión en el dispositivo de puesta a tierra. En otras palabras,  $\Delta\theta_{gnd}$  es el desfase entre la tensión en terminales de la impedancia de medida y la corriente de defecto que retorna por el dispositivo y ésta se puede asimilar al ángulo de la propia impedancia de puesta a tierra.

15 En una primera realización de la invención, el sistema de localización de faltas está provisto de un equipo de medida configurado para medir la tensión en el punto neutro de la instalación eléctrica y para medir la tensión en el dispositivo de puesta a tierra. En esta realización de la invención el valor del cociente  $\left(\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}}\right)$  se determina a partir de dicha medida de tensión, calculada como:

$$\underline{U}_{gnd} = U_{gnd} \cdot e^{j\theta_{U_{gnd}}}$$

$$U_{gnd} = \sqrt{\frac{1}{T_{gnd}} \cdot \sum_{j=0}^{j=n} \left[ \frac{u_{gnd}^2(t_j) + u_{gnd}^2(t_{j+1})}{2} \cdot (t_{j+1} + t_j) \right]}$$

$$\theta_{U_{gnd}} = \text{atan} \frac{a_{1gnd}}{b_{1gnd}}$$

20 donde:

$T_{gnd}$ : es el periodo de la onda de tensión;

$u_{gnd}(t_j)$ : es el valor instantáneo de la onda de tensión en el



dispositivo de puesta a tierra para un instante  $t_j$  dado;

$\theta_{U_{gnd}}$ : es el argumento del primer armónico de la onda realizando una transformada rápida de Fourier (FFT) de manera convencional;

5  $a_{1gnd}$ : es el valor de amplitud del filtro seno de primer armónico de la FFT para la onda de tensión en la impedancia del dispositivo de puesta a tierra ( $U_{gnd}$ );

10  $b_{1gnd}$ : es el valor de amplitud del filtro coseno de primer armónico de la FFT para la onda de tensión en la impedancia del dispositivo de puesta a tierra ( $U_{gnd}$ ).

A diferencia de la técnica anterior, esta realización de la invención permite localizar defectos a tierra tomando medidas únicamente de tensión.

15 Asimismo, el sistema y el método según la presente invención permiten la localización de faltas a tierra en instalaciones eléctricas de corriente alterna, sin importar, el tipo de configuración que tenga, pudiendo ser monofásicas, bifásicas, trifásicas o disposiciones sucesivas además de poder incluir en su configuración buses de corriente continua.

20 En la presente invención, las impedancias de cada fase de corriente alterna ( $Z_i$ ), pueden ser medidas a priori o, si dichas impedancias son variables, mediante un instrumento oportuno para su estimación de variabilidad (por ejemplo: en una máquina asíncrona, donde la impedancia varía con el deslizamiento, por medio  
25 de un medidor de velocidad del eje). Asimismo, el valor de la impedancia de puesta a tierra ( $Z_{gnd}$ ), puede conocerse -opcionalmente- a priori de la instalación.

30 Asimismo, en la presente invención la tensión ( $U_{gnd}$ ) en el dispositivo de puesta a tierra, se calcula de igual forma que las tensiones fase-neutro del lado de corriente alterna.

Se define la corriente residual como el resultado de la suma de las intensidades de línea que circulan por un circuito (o instalación eléctrica). En caso de fallo (falta a tierra) esta corriente residual es no nula y existe un retorno por tierra de dicha corriente por el dispositivo de puesta a tierra, que consiste en un elemento pasivo, instalado también a tierra previamente en un punto neutro del sistema al que se quiera adherir, o en caso de ser una red con puesta a tierra (tipo rígidamente puesto a tierra, TT, o puesto a tierra mediante una impedancia, IT), instalado en serie en el sistema de puesta a tierra correspondiente.

10

Dicha primera realización del sistema de localización de faltas de la invención está provista, por tanto, de un dispositivo configurado para medir la tensión a la que esté sometido el dispositivo de puesta a tierra, quedando así caracterizada la corriente residual.

15

En una segunda realización del sistema de localización de faltas de la invención está provisto un amperímetro configurado para medir corriente (en sistemas TT donde no hay impedancia de puesta a tierra) directamente en el dispositivo de puesta a tierra, dado que:

$$I_{res} = \frac{U_{gnd}}{Z_{gnd}}$$

20 donde:

$I_{res}$ : es la corriente residual que circula por el dispositivo de puesta a tierra;

$U_{gnd}$ : es la tensión medida en el dispositivo de puesta a tierra;

$Z_{gnd}$ : es la impedancia de puesta a tierra.

25

Por tanto, en dicha segunda realización del sistema de localización de faltas, según la invención, está provisto de un amperímetro configurado para medir la

corriente residual que circula por el dispositivo de puesta a tierra ( $I_{res}$ ) y determinar el valor de  $(\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}})$  como

$$\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}} = \frac{1}{I_{res}}$$

Retornando a la primera realización, en caso de falta a tierra, la tensión residual  
 5 medida,  $U_{gnd}$ , tendrá una serie de características atendiendo a donde se haya  
 producido el defecto de forma que estas se asemejen proporcionalmente a la  
 forma de onda y magnitud de la tensión donde se ha ocasionado dicho fallo. Un  
 ejemplo no limitativo de este caso sería registrar una onda PWM (Onda  
 10 modulada en ancho de pulso por un convertidor electrónico mediante la apertura  
 y cierre controlado de interruptores) en el dispositivo de puesta a tierra, lo que  
 implicaría un defecto en el lado de corriente alterna de un inversor (véanse la  
 Figura 1 y la Figura 2).

La identificación de la fase con el defecto, una vez se tiene lectura de tensión en  
 15 el dispositivo de puesta a tierra, se obtiene mediante la comparación de ángulo  
 entre la tensión en el dispositivo de puesta a tierra (que es, por ejemplo, una  
 impedancia de puesta a tierra) y las tensiones de fase del lado de alterna. Esta  
 se localiza como:

$$\theta_{U_{gnd}} - \theta_{U_{i.n}} = 180^\circ \pm \Delta\theta_{gnd}$$

Donde:

- 20  $\theta_{U_{gnd}}$ : es la fase de la tensión leída en bornes del dispositivo de medida;  
 $\theta_{U_{i.n}}$ : es la fase de la tensión que porta el fallo a tierra;  
 $\Delta\theta_{gnd}$ : es la impedancia propia del dispositivo de medida (un ejemplo no  
 limitativo puede ser una resistencia de medida calibrada R que tendría un  
 desfase añadido de  $+0^\circ$ ).

25

Su operación es análoga si se tiene una medida de intensidad (segunda

realización). Siendo la medida de la fase esta vez:

$$\theta_{I_{res}} - \theta_{U_{i.n}} = 180^\circ \mp \Delta\theta_{gnd}$$

Donde:

$\theta_{I_{res}}$ : es la fase de la lectura de corriente residual de defecto que circula por el dispositivo de puesta a tierra;

5

El sistema y método de localización de la falta según la presente invención (que se describirá a continuación), una vez conocida la fase, se basa en la siguiente ecuación:

$$k = -\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}} \cdot \sum_{i=a}^N \frac{U_{in}}{Z_i}$$

Para  $i$  siendo el número de fases de la instalación eléctrica. En caso de una  
10 instalación eléctrica trifásica (con tres fases de corriente alterna a, b y c) se tendría:

$$k = -\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}} \cdot \left( \frac{U_{an}}{Z_a} + \frac{U_{bn}}{Z_b} + \frac{U_{cn}}{Z_c} \right)$$

Donde:

$k$ : es el porcentaje en tanto por unidad sobre la impedancia de fase donde se produce el fallo;

15

$Z_{gnd}$ : es la impedancia del dispositivo puesto a tierra;

$U_{gnd}$ : es el fasor de la tensión leída en la impedancia del dispositivo puesto a tierra;

$U_{an}$ : es el fasor de la tensión de la fase a;

$U_{bn}$ : es el fasor de la tensión de la fase b;

20

$U_{cn}$ : es el fasor de la tensión de la fase c;

$Z_a$ : es la impedancia de la fase a;

$Z_b$ : es la impedancia de la fase b;

$Z_c$ : es la impedancia de la fase c.

La presente invención contempla medir cada tensión de fase de la parte de corriente alterna del sistema. En caso de no tener el neutro del sistema accesible se procederá a realizar un neutro artificial.

Algunas realizaciones de la invención contemplan medir también la tensión en el elemento pasivo de medida del lado de corriente continua. En caso de que el sistema esté rígidamente conectado a tierra, alternativamente, otras realizaciones de la invención contemplan leer la corriente en el dispositivo de puesta a tierra que circula hacia la tierra, en vez de la tensión mediante un dispositivo de puesta a tierra, quedando la expresión:

$$k = -\frac{1}{I_{res}} \cdot \sum_{i=a}^N \frac{U_{in}}{Z_i}$$

Y para el caso de un sistema trifásico:

$$k = -\frac{1}{I_{res}} \cdot \left( \frac{U_{an}}{Z_a} + \frac{U_{bn}}{Z_b} + \frac{U_{cn}}{Z_c} \right)$$

La presente invención contempla calcular los fasores de tensión en módulo y argumento para poder operar en las fórmulas anteriormente descritas y el de intensidad de neutro en caso de medir corriente residual.

La presente invención contempla calcular las impedancias de fase u obtenerlas mediante ensayos previos o una mezcla de ambos (pueden resultar variables en caso de un accionamiento eléctrico) pudiendo éstas calcularse a través de medidas de las magnitudes mecánicas que se vean oportunas. Un ejemplo no representativo de éstas sería obtener las impedancias del circuito equivalente de un motor asíncrono ensayando previamente el motor, y ajustando los parámetros del rotor en función del deslizamiento de la máquina, por lo que haría falta la

medida de la medida de la velocidad de giro del eje, además de la frecuencia de la red que se obtiene de la frecuencia de la tensión fase neutro del estator.

5 La presente invención también contempla ensayar previamente la impedancia del dispositivo puesto a tierra.

La instalación del dispositivo de puesta a tierra puede quedar tanto en zonas del bus de continua como en puntos de corriente alterna, siempre que sea entre un punto de conexión de potencial neutro entre el circuito y tierra.

10

Un segundo aspecto de la presente invención se refiere a un método de localización de faltas a tierra en al menos una instalación eléctrica de corriente alterna, estando dicha instalación eléctrica provista de al menos una fase de corriente alterna, una conexión a tierra y un punto neutro, caracterizado por que  
15 comprende las siguientes etapas:

- a) disponer un dispositivo de puesta a tierra, que consiste en un elemento pasivo, entre el punto neutro de la instalación eléctrica y la conexión a tierra;
- b) medir las tensiones de cada fase corriente alterna ( $U_{in}$ );
- 20 c) medir las impedancias de cada fase de corriente alterna ( $Z_i$ );
- d) calcular el fasor de todas las tensiones de cada fase de corriente alterna como:

$$\underline{U}_{gnd} = U_{gnd} \cdot e^{j\theta_{U_{gnd}}}$$

$$U_{gnd} = \sqrt{\frac{1}{T_{gnd}} \cdot \sum_{j=0}^{j=n} \left[ \frac{u_{gnd}^2(t_j) + u_{gnd}^2(t_{j+1})}{2} \cdot (t_{j+1} + t_j) \right]}$$

$$\theta_{U_{gnd}} = \text{atan} \frac{a_{1gnd}}{b_{1gnd}}$$

donde:

$T_{gnd}$ : es el periodo de la onda de tensión;

$u_{gnd}(t_j)$ : es el valor instantáneo de la onda de tensión en el dispositivo de puesta a tierra para un instante  $t_j$  dado;

5  $\theta_{U_{gnd}}$ : es el argumento del primer armónico de la onda realizando una transformada rápida de Fourier (FFT);

$a_{1gnd}$ : es el valor de amplitud del filtro seno de primer armónico de la FFT para la onda de tensión en la impedancia del dispositivo de puesta a tierra ( $U_{gnd}$ );

10  $b_{1gnd}$ : es el valor de amplitud del filtro coseno de primer armónico de la FFT para la onda de tensión en la impedancia del dispositivo de puesta a tierra ( $U_{gnd}$ ).

15 e) medir el valor de  $(\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}})$ , correspondiente al cociente entre la impedancia de puesta a tierra ( $Z_{gnd}$ ) y la tensión ( $U_{gnd}$ ) en el dispositivo de puesta a tierra;

f) calcular la localización de la falta a tierra por comparación del ángulo entre tensiones de cada fase, tal que

$$\theta_{U_{gnd}} - \theta_{U_{i.n}} = 180^\circ \pm \Delta\theta_{gnd}$$

donde:

20  $\theta_{U_{gnd}}$ : es la fase de la tensión leída en bornes del equipo de medida;

$\theta_{U_{i.n}}$ : es la fase de la tensión que porta la falta a tierra;

$\Delta\theta_{gnd}$ : es la impedancia propia del equipo de medida; y

25 g) calcular el porcentaje (k) sobre la impedancia de fase de corriente alterna donde se produce la falta a tierra, siendo dicho porcentaje (k):

$$k = -\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}} \cdot \sum_{i=a}^N \frac{U_{in}}{Z_i}$$

dónde

k: es el porcentaje en tanto por unidad sobre la impedancia de fase donde se produce la falta;

5  $U_{in}$ : es la tensión de la fase de corriente alterna “i”;

$Z_i$ : es la impedancia de la fase de corriente alterna “i”;

N: es el número total de fases de la instalación;

$Z_{gnd}$  es la impedancia del dispositivo puesto a tierra; y

10  $U_{gnd}$  es la tensión leída en la impedancia del dispositivo puesto a tierra.

En una primera realización del método de localización de faltas la invención, el valor del cociente  $(\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}})$  se determina midiendo la tensión en el punto neutro de la instalación eléctrica y midiendo la tensión en el dispositivo de puesta a tierra.

15

En una segunda realización del método de localización de faltas la invención el valor del cociente  $(\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}})$  se determina midiendo la corriente residual que circula por el dispositivo de puesta a tierra ( $I_{res}$ ) y determinando el valor de  $(\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}})$  como:

$$\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}} = \frac{1}{I_{res}}$$

## 20 DEFINICIONES

A lo largo de la presente descripción, debe entenderse que un “elemento pasivo” es un elemento eléctrico que carece de fuentes de tensión o corriente.



## **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.

La figura 1 es una vista esquemática de una primera realización del sistema de localización de faltas según la invención, en la que la instalación eléctrica se alimenta a través de la red eléctrica;

La figura 2 es una vista esquemática de una segunda realización del sistema de localización de faltas según la invención, en la que la instalación eléctrica se alimenta a través de baterías; y

La Fig. 3 es una vista esquemática de una tercera realización del sistema de localización de faltas según la invención, en la que la instalación eléctrica cuyo neutro está conectado a tierra a través de una impedancia.

## **REFERENCIAS NUMÉRICAS DE LAS FIGURAS**

- (1) Dispositivo de puesta a tierra;
- (2) Punto medio del bus de corriente continua;
- (3) Equipo de medida de tensión en el dispositivo de puesta a tierra;
- (4) Polo positivo del bus de corriente continua del convertidor;
- (5) Polo negativo del bus de corriente continua del convertidor;
- (6) IGBT;
- (7) Bus de corriente alterna;
- (8) Medida y cálculo de la tensión de fase-neutro de la fase a;
- (9) Medida y cálculo de la tensión de fase-neutro de la fase b;
- (10) Medida y cálculo de la tensión de fase-neutro de la fase c;
- (11) Medida de parámetros auxiliares para el cálculo de la impedancia de fase;

- (12) Accionamiento eléctrico;
- (13) Cálculo de fasores y fase con defecto por comparación de argumentos de los fasores de tensión;
- (14) Cálculo del porcentaje de impedancia de fase donde se localiza la falta a tierra;
- 5 (15) Transformador de potencia.

### REALIZACIONES PREFERENTES

- 10 Se procede a continuación a hacer una descripción de diversos casos de utilidades preferentes para la invención.

El diseño de la Figura 1 representa el sistema de localización de faltas a tierra en el caso de un accionamiento de velocidad variable, con una etapa media de corriente continua que se alimenta de la red eléctrica. En esta realización  
15 concreta de la invención, el sistema de localización consta de:

- Un dispositivo de puesta a tierra (1) conectado en el punto medio del bus de corriente continua (2) en el que se mide la tensión entre este punto y tierra mediante un equipo de medida de tensión (3) en el dispositivo de puesta a tierra (1), que es el segundo punto conectado del elemento pasivo, a esta tensión se la denomina  $U_{gnd}$ .  
20
- El punto de potencial nulo de la zona de corriente continua está localizado en el punto medio del bus de corriente continua (2). A partir de este punto medio, en la parte superior a este conformará el polo positivo del bus de corriente continua del convertidor (4) y en la parte inferior será el polo negativo del bus de corriente continua del convertidor (5).  
25
- El convertidor de la izquierda, (que es parte de la instalación eléctrica), transforma la corriente alterna de la red en corriente continua y el inversor  
30

de la derecha (que también es parte de la instalación eléctrica), transforma la corriente continua en corriente alterna. Ambos están conectados entre los polos positivo y negativo del bus de corriente continua (4) (5) mediante elementos de conmutación. En este caso son  
 5 transistores bipolares de puerta aislada, IGBTs (6), dispuestos en tres puentes que conforman un convertidor y un inversor de 6 pulsos cada uno.

- Del inversor sale corriente alterna hacia una instalación eléctrica trifásica, o bus de corriente alterna (7), que alimenta un accionamiento eléctrico (12). De esta instalación trifásica se recogen las medidas de las tensiones de cada fase-neutro de las fases a,  $U_{an}$  (8), b,  $U_{bn}$  (9) y c,  $U_{cn}$  (10). Adicionalmente se mide también la velocidad del motor para este caso en particular en el equipo de medida de parámetros auxiliares para  
 10 el cálculo de la impedancia de fase (11) con objeto de calcular la impedancia equivalente del accionamiento eléctrico (12).  
 15

- Finalmente se procede al cálculo de fasores y fase con defecto por comparación de argumentos de los fasores de tensión (13) y conociendo la fase se procede al cálculo del porcentaje de impedancia de fase donde se localiza la falta a tierra (14).  
 20

La Figura 2 representa el sistema de localización para un accionamiento de velocidad variable alimentado directamente desde unas baterías. Es una  
 25 variante del esquema anterior del sistema de localización de faltas a tierra en corriente alterna, donde sólo se realizan medidas de la tensión fase-neutro de las fases a (8), b (9) y c (10) en el lado de alterna, la medida de la velocidad de la máquina mediante equipo de medida de parámetros auxiliares para el cálculo de la impedancia de fase (11) y la medida de tensión en el equipo de medida de  
 30 tensión (3) en el dispositivo de puesta a tierra (1), ya que la medida de las corrientes no es necesaria para la localización de la falta. Este caso en concreto se podría aplicar al esquema del tren de potencia de un vehículo eléctrico, en

este caso las faltas a tierra serían faltas al chasis del vehículo.

La Figura 3 muestra el caso de una máquina alimentada directamente desde una red eléctrica cuyo neutro está conectado a tierra a través de una impedancia, de  
5 forma que se limita el valor de defecto. Donde se observan los siguientes puntos:

- Dispositivo de puesta a tierra (1) donde se mide la tensión de defecto mediante el equipo de medida de tensión en el dispositivo de puesta a tierra (3) conectado al centro estrella del secundario de un transformador de potencia (15).  
10
- El transformador de potencia (15) está conectado a ambos lados por buses de corriente alterna (7). El lado de alta tensión va a la red y el lado de baja tensión al accionamiento eléctrico (12).
- Para localizar el defecto se han de medir las tensiones fase-neutro de las fases a (8), b (9) y c (10). Adicionalmente se mide también la velocidad del motor para este caso en particular en el equipo de medida de  
15 parámetros auxiliares para el cálculo de la impedancia de fase (11).
- Finalmente se procede al cálculo de fasores y fase con defecto por comparación de argumentos de los fasores de tensión (13) y se despeja la incógnita  $k$  mediante el cálculo del porcentaje de impedancia de fase  
20 donde se localiza la falta a tierra. (14).

### **Accionamiento en corriente alterna controlado mediante un inversor y alimentado por baterías.**

Su aplicación es principalmente para sistemas eléctricos con conversión entre  
25 corriente continua y corriente alterna, ya que el dispositivo puede instalarse en cualquier punto neutro y localiza únicamente el defecto en corriente alterna. Un ejemplo no limitativo de dicha aplicación puede observarse en el tren de potencia eléctrica de un vehículo eléctrico que se corresponde con la Figura 2.

**Accionamiento de velocidad variable con doble convertidor y etapa de corriente continua alimentado desde una red eléctrica**

También se puede utilizar para la aplicación en grupos de generación con un convertidor y un inversor como pueden ser sistemas de energía undimotriz o  
5 generadores eólicos con tecnología PMSG conectados posteriormente a la red, ambos ejemplos se pueden modelar con la Figura 1.

En estos sistemas el dispositivo de puesta a tierra (1) se puede poner tanto en el punto medio del bus de continua (4) entre rectificador e inversor como en el bus  
10 de alterna (7) de la red si hay algún punto neutro accesible para conectar el dispositivo a tierra.

Las medidas de tensión de fase-neutro de las fases a (8), b (9) y c (10) se deberán realizar en el bus de corriente alterna (7) de frecuencia variable del  
15 sistema y la tensión residual se medirá en bornes del dispositivo indistintamente de donde esté posicionado.

**Accionamientos o cargas directamente conectadas a la red eléctrica a frecuencia industrial.**

20 Esta invención también es válida para sistemas conectados directamente a red, es decir, para cargas con alimentación a frecuencia industrial. En este caso se puede incluir o no un dispositivo que limite la corriente de retorno por el dispositivo, o se puede medir únicamente la corriente en una conexión rígida a tierra en un punto de potencial nulo. Un ejemplo no limitativo de esta aplicación  
25 puede ser un aerogenerador SCIG o una máquina síncrona directamente conectados a red.

El dispositivo en estos casos se ha de conectar en un neutro artificial o, si lo permite la configuración del sistema, en el lado de baja tensión del transformador  
30 de potencia (15) que alimenta las cargas a diagnosticar (véase la Figura 3).

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de localización de faltas a tierra en al menos una instalación eléctrica de corriente alterna, estando dicha instalación eléctrica provista de al menos una fase de corriente alterna, una conexión a tierra y un punto neutro, caracterizado por que comprende:

a) un dispositivo de puesta a tierra (1), que consiste en un elemento pasivo dispuesto entre el punto neutro de la instalación eléctrica y la conexión a tierra;

b) al menos un equipo de medida, que comprende un equipo de medida de tensión (3) dispuesto en el dispositivo de puesta a tierra (1), estando dicho equipo de medida configurado para medir las siguientes magnitudes:

i) las tensiones de cada fase de corriente alterna ( $U_{in}$ ) y calcular el fasor de todas las tensiones de cada fase de corriente alterna como:

$$\underline{U}_{in} = U_{in} \cdot e^{j\theta_{U.in}}$$

$$U_{in} = \sqrt{\frac{1}{T_i} \cdot \sum_{j=0}^{j=n} \left[ \frac{u_{in}^2(t_j) + u_{in}^2(t_{j+1})}{2} \cdot (t_{j+1} + t_j) \right]}$$

$$\theta_{U.in} = \text{atan} \frac{a_{1in}}{b_{1in}}$$

donde:

$T_i$ : es el periodo de la onda de tensión;

$u_{in}(t_j)$ : es el valor instantáneo de la onda de tensión de fase de corriente alterna para un instante  $t_j$  dado;

$\theta_{U.in}$ : es el argumento del primer armónico de la onda realizando una transformada rápida de Fourier (FFT);

$a_{1in}$ : es el valor de amplitud del filtro seno de primer armónico de la

FFT para la onda de tensión fase-neutro ( $U_{in}$ );

$b_{1in}$ : es el valor de amplitud del filtro coseno de primer armónico de la FFT para la onda de tensión fase-neutro ( $U_{in}$ );

ii) las impedancias de cada fase de corriente alterna ( $Z_i$ );

5      iii) el valor de  $\left(\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}}\right)$ , correspondiente al cociente entre la impedancia de puesta a tierra ( $Z_{gnd}$ ) y la tensión ( $U_{gnd}$ ) en el dispositivo de puesta a tierra; donde el valor del cociente  $\left(\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}}\right)$  se determina midiendo la tensión en el punto neutro de la instalación eléctrica y la tensión en el dispositivo de puesta a tierra;

10     c) un equipo de cálculo, configurado para identificar la fase de corriente alterna en la que se produce una falta a tierra por comparación del ángulo entre tensiones tal que:

$$\theta_{U_{gnd}} - \theta_{U_{i.n}} = 180^\circ \pm \Delta\theta_{gnd}$$

donde:

15       $\theta_{U_{gnd}}$ : es la fase de la tensión leída en bornes del equipo de medida;

$\theta_{U_{i.n}}$ : es la fase de la tensión que porta la falta a tierra;

$\Delta\theta_{gnd}$ : es la impedancia propia del equipo de medida;

20     estando configurado además el equipo de cálculo para calcular el porcentaje (k) sobre la impedancia de fase de corriente alterna donde se produce la falta a tierra, siendo dicho porcentaje (k):

$$k = -\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}} \cdot \sum_{i=a}^N \frac{U_{in}}{Z_i}$$

donde

k: es el porcentaje en tanto por unidad sobre la impedancia de fase donde se produce la falta;

$U_{in}$ : es la tensión de la fase "i";

$Z_i$ : es la impedancia de la fase "i";

N es el número total de fases de la instalación;

$Z_{gnd}$  es la impedancia del dispositivo puesto a tierra; y

5  $U_{gnd}$  es la tensión leída en la impedancia del dispositivo puesto a tierra.

2. Sistema de localización de faltas a tierra según la reivindicación 1, en el que está provisto un amperímetro configurado para medir la corriente residual que circula por el dispositivo de puesta a tierra ( $I_{res}$ ) y determinar el valor de  $(\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}})$  como

$$\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}} = \frac{1}{I_{res}}$$

3. Método de localización de faltas a tierra en al menos una instalación eléctrica de corriente alterna, estando dicha instalación eléctrica provista de al menos una fase de corriente alterna, una conexión a tierra y un punto neutro, caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

15 - disponer un dispositivo de puesta a tierra (1), que consiste en un elemento pasivo, entre el punto neutro de la instalación eléctrica y la conexión a tierra;

20 - disponer un equipo de medida de tensión (3) en el dispositivo de puesta a tierra (1);

- medir las tensiones de cada fase de corriente alterna ( $U_{in}$ );

- medir las impedancias de cada fase de corriente alterna ( $Z_i$ );

25 - calcular el fasor de todas las tensiones de cada fase de corriente alterna como:

$$\underline{U}_{in} = U_{in} \cdot e^{j\theta_{U.in}}$$



$$U_{in} = \sqrt{\frac{1}{T_i} \cdot \sum_{j=0}^{j=n} \left[ \frac{u_{in}^2(t_j) + u_{in}^2(t_{j+1})}{2} \cdot (t_{j+1} + t_j) \right]}$$

$$\theta_{U.in} = \text{atan} \frac{a_{1in}}{b_{1in}}$$

y para la tensión en el dispositivo de puesta a tierra como:

$$\underline{U}_{gnd} = U_{gnd} \cdot e^{j\theta_{Ugnd}}$$

$$U_{gnd} = \sqrt{\frac{1}{T_{gnd}} \cdot \sum_{j=0}^{j=n} \left[ \frac{u_{gnd}^2(t_j) + u_{gnd}^2(t_{j+1})}{2} \cdot (t_{j+1} + t_j) \right]}$$

$$\theta_{Ugnd} = \text{atan} \frac{a_{1gnd}}{b_{1gnd}}$$

donde:

$T_i$ : es el periodo de la onda de tensión;

5

$u_{in}(t_j)$ : es el valor instantáneo de la onda de tensión de fase de corriente alterna para un instante  $t_j$  dado

$\theta_{U.in}$ : es el argumento del primer armónico de la onda realizando una transformada rápida de Fourier (FFT):

$a_{1in}$ : es el valor de amplitud del filtro seno de primer armónico de la FFT para la onda de tensión fase-neutro ( $U_{in}$ );

10

$b_{1in}$ : es el valor de amplitud del filtro coseno de primer armónico de la FFT para la onda de tensión fase-neutro ( $U_{in}$ );

$T_{gnd}$ : es el periodo de la onda de tensión;

$u_{gnd}(t_j)$ : es el valor instantáneo de la onda de tensión en el dispositivo de puesta a tierra para un instante  $t_j$  dado.;

15

$\theta_{Ugnd}$ : es el argumento del primer armónico de la onda realizando una FFT;

$a_{1gnd}$ : es el valor de amplitud del filtro seno de primer armónico de la FFT para la onda de tensión en la impedancia del dispositivo de

puesta a tierra ( $U_{gnd}$ );

$b_{1gnd}$ : es el valor de amplitud del filtro coseno de primer armónico de la FFT para la onda de tensión en la impedancia del dispositivo de puesta a tierra ( $U_{gnd}$ );

- 5 - medir el valor de  $\left(\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}}\right)$ , correspondiente al cociente entre la impedancia de puesta a tierra ( $Z_{gnd}$ ) y la tensión ( $U_{gnd}$ ) en el dispositivo de puesta a tierra; midiendo la tensión en el punto neutro de la instalación eléctrica y midiendo la tensión en el dispositivo de puesta a tierra; y
- calcular la localización de la falta a tierra por comparación del ángulo
- 10 entre las tensiones de cada fase tal que:

$$\theta_{U_{gnd}} - \theta_{U_{i.n}} = 180^\circ \pm \Delta\theta_{gnd}$$

donde:

$\theta_{U_{gnd}}$ : es la fase de la tensión leída en bornes del dispositivo de medida;

$\theta_{U_{i.n}}$ : es la fase de la tensión que porta el fallo a tierra;

- 15  $\Delta\theta_{gnd}$ : es la impedancia propia del dispositivo de medida.

y calcular el porcentaje (k) sobre la impedancia de fase de corriente alterna donde se produce la falta a tierra, siendo dicho porcentaje (k):

$$k = -\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}} \cdot \sum_{i=a}^N \frac{U_{in}}{Z_i}$$

donde

- 20 k: es el porcentaje en tanto por unidad sobre la impedancia de fase donde se produce la falta;

$U_{in}$ : es la tensión de la fase de corriente alterna "i";

$Z_i$ : es la impedancia de la fase de corriente alterna "i";

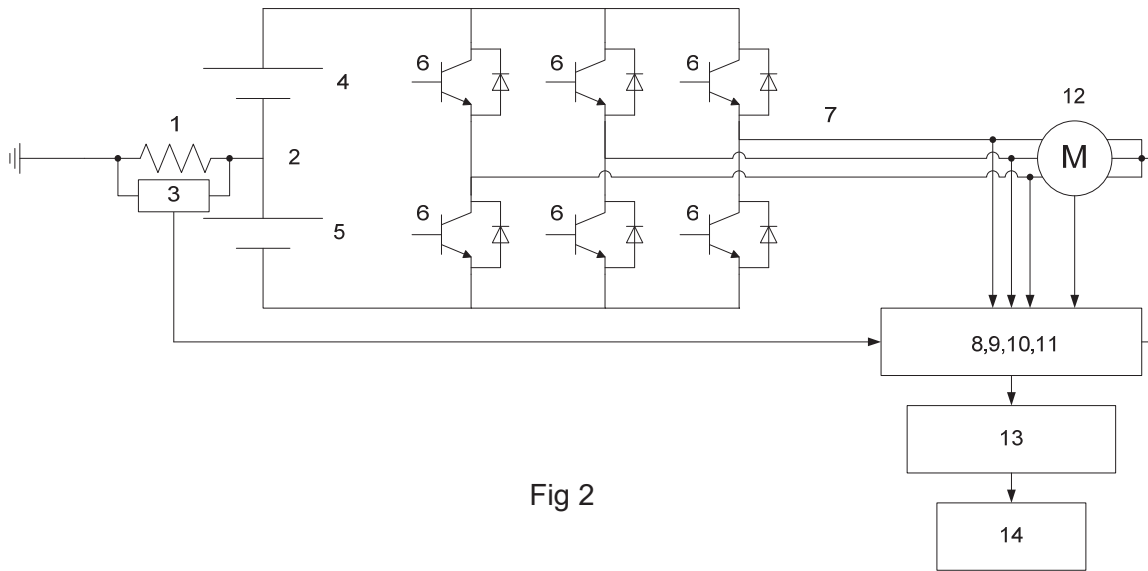
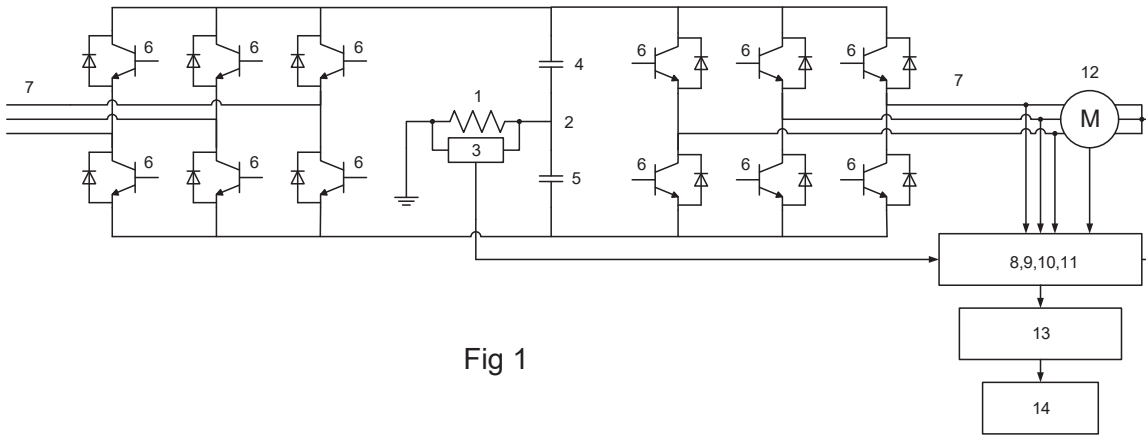
N: es el número total de fases de la instalación;

$Z_{gnd}$  es la impedancia del dispositivo puesto a tierra; y

$U_{gnd}$  es la tensión leída en la impedancia del dispositivo puesto a tierra.

- 5 4. Método de localización de faltas a tierra según la reivindicación 3, en el que el valor del cociente  $(\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}})$  se determina midiendo la corriente residual que circula por el dispositivo de puesta a tierra ( $I_{res}$ ) y determinando el valor de  $(\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}})$  como:

$$\frac{Z_{gnd}}{U_{gnd}} = \frac{1}{I_{res}}$$



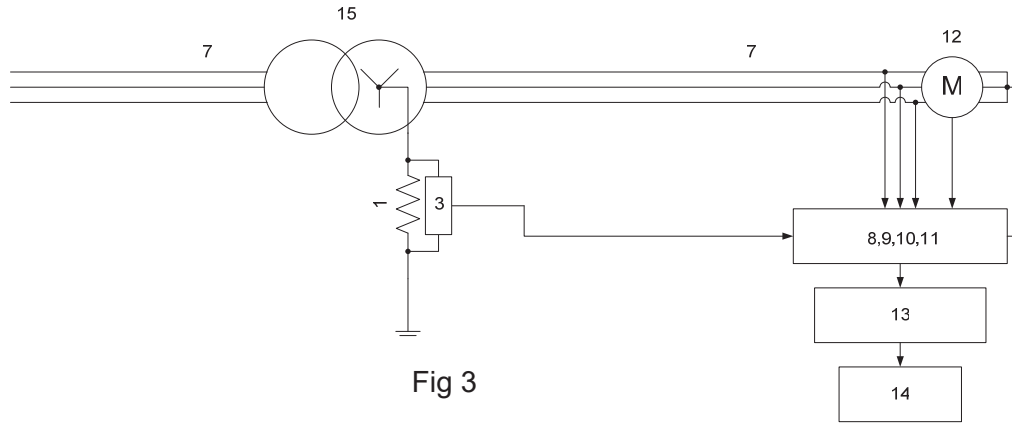


Fig 3