

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 914 042**

51 Int. Cl.:

**G01R 31/67** (2010.01)

**G01R 31/66** (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.05.2016 PCT/US2016/033400**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.12.2016 WO16191234**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2016 E 16726470 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.03.2022 EP 3304115**

54 Título: **Método y aparato para la puesta en servicio de sensores de voltaje y sensores de corriente de circuito de ramificación para sistemas de monitorización de circuitos de ramificación**

30 Prioridad:

**27.05.2015 US 201514722481**

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

**07.06.2022**

73 Titular/es:

**EATON INTELLIGENT POWER LIMITED (100.0%)  
30 Pembroke Road  
Dublin 4, IE**

72 Inventor/es:

**HAYASHI, ALAN K.;  
ZAREMSKI, BRIAN Z. y  
GAO, ZHI**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

ES 2 914 042 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

Método y aparato para la puesta en servicio de sensores de voltaje y sensores de corriente de circuito de ramificación para sistemas de monitorización de circuitos de ramificación

5

### Antecedentes

#### Campo

10 El concepto descrito se refiere generalmente a medidores de energía o alimentación eléctrica en sistemas de alimentación eléctrica polifásica y, más particularmente, a la puesta en servicio y diagnóstico de sensores de voltaje y sensores de corriente en diferentes configuraciones de cableado para sistemas de monitorización de circuito de ramificación usados en sistemas de alimentación eléctrica polifásica.

#### 15 Información de antecedentes

En un sistema de monitorización de circuito de ramificación, un panel de servicio de forma típica tiene barras colectoras que tienen voltajes polifásicos que pueden medirse usando sensores de voltaje. Además, el panel también tiene múltiples sensores de corriente principales en las barras colectoras. Por otro lado, el panel de servicio puede tener ramificaciones y sensores de corriente de circuito de ramificación asociados. Para una medición adecuada, es fundamental que esos sensores de voltaje y corriente estén configurados correctamente. Las configuraciones incorrectas frecuentemente implican sensores de voltaje cableados a fases erróneas, sensores de corriente de circuito de ramificación asociados con fases erróneas, o sensores de corriente de circuito de ramificación agrupados incorrectamente.

20

25 Un enfoque convencional para poner en servicio y diagnosticar un sistema de monitorización de circuito de ramificación se basa en una comprensión del diseño físico del sistema y los valores medidos por los sensores de voltaje y corriente, valores que se usan para calcular valores de energía reales, reactivos y aparentes. Los sensores de corriente de circuito de ramificación se agrupan basándose en el diseño físico, que se usan para calcular la energía de la ramificación. Un fallo en la comprensión del diseño físico del sistema frecuentemente da como resultado una configuración incorrecta. Las configuraciones incorrectas pueden producir valores de energía de ramificación reales, reactivos, aparentes y similares.

30

35 Se centra la atención en el documento US 2015 042 311 A1, que muestra un sistema para un sistema de alimentación eléctrica trifásica que incluye una pluralidad de sensores de voltaje que detectan voltajes trifásicos del sistema de alimentación eléctrica trifásica, una pluralidad de sensores de corriente que detectan corrientes trifásicas del sistema de alimentación eléctrica trifásica, y un número de transformadores de analógico a digital que convierten los voltajes trifásicos detectados y las corrientes trifásicas detectadas del sistema de alimentación eléctrica trifásica a los valores digitales correspondientes. Un procesador calcula a partir de los valores digitales correspondientes al

40

45 menos dos ángulos de fase entre voltaje y corriente para al menos dos de tres fases del sistema de alimentación eléctrica trifásica, diagnostica polaridades y asociaciones de fases para al menos dos de los sensores de corriente basándose en, para cada uno de los al menos dos sensores de corriente, una configuración de cableado predeterminada del sistema de alimentación eléctrica trifásica y uno correspondiente de los al menos dos ángulos de fase están dentro de un rango angular predeterminado correspondiente, y emite resultados de diagnóstico correspondientes.

45

#### Sumario

50 Según la presente invención, se dan a conocer un método, un módulo y un medio legible según lo descrito en las reivindicaciones 1, 2 y 3. En una realización, se proporciona un método según la reivindicación 1 para un sistema de monitorización de corriente de ramificación que emplea una configuración de cableado Wye bifásica.

50

55 En otra realización, se proporciona un módulo de medidor de circuito de ramificación según la reivindicación 2 para un sistema de monitorización de corriente de ramificación que emplea una configuración de cableado Wye bifásica.

55

Las Figs. 1A y 1B son un diagrama esquemático de un sistema de monitorización de circuito de ramificación según una realización ilustrativa no limitativa en donde puede implementarse el concepto descrito;

60 la Fig. 2 es un diagrama de circuito de una configuración ilustrativa de cableado Wye trifásica de 4 alambres;

60

la Fig. 3 es un diagrama de circuito de una configuración ilustrativa de cableado Delta trifásica de 3 alambres;

65 la Fig. 4 es un diagrama de circuito de una configuración ilustrativa de cableado Delta trifásica de 4 alambres;

65

la Fig. 5 es un diagrama de circuito de una configuración ilustrativa de cableado Delta con conexión a tierra trifásica;

la Fig. 6 es un diagrama de circuito de una configuración ilustrativa de cableado Wye bifásica;

5 la Fig. 7 es un diagrama de circuito de una configuración ilustrativa de cableado de 3 alambres monofásica;

la Fig. 8 es un diagrama esquemático de una arquitectura global de un método y aparato para el diagnóstico de sensor actual según una realización ilustrativa como se implementa por/en el sistema de monitorización de circuito de ramificación de las Figs. 1A y 1B;

10 la Fig. 9 es un diagrama de fasor  $V_{AN}$ ,  $V_{BN}$ ,  $V_{CN}$  y  $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$ ,  $V_{CA}$  en un sistema de alimentación trifásico con voltajes trifásicos equilibrados;

15 la Fig. 10A es un diagrama de fasor que muestra la relación entre los voltajes  $V_{An}$ ,  $V_{Bn}$ , y las mediciones de corriente,  $I_A$ ,  $I_B$  según una realización del concepto descrito;

la Fig. 10B es un diagrama de fasor que muestra la relación entre las mediciones de voltaje  $V_{AN}$ ,  $V_{BN}$ ,  $V_{CN}$ , y las mediciones de corriente,  $I_A$ ,  $I_B$  según una realización del concepto descrito;

20 la Fig. 11 es un diagrama de fasor de voltajes  $V_{An}$ ,  $V_{Bn}$ , y las mediciones de voltaje,  $V_{AN}$ ,  $V_{BN}$ ,  $V_{CN}$  según una realización del concepto descrito;

la Fig. 12 es un diagrama de fasor que muestra la relación entre las mediciones de voltaje  $V_{AN}$ ,  $V_{BN}$ , y las mediciones de corriente,  $I_A$ ,  $I_B$  según una realización del concepto descrito; y

25 la Fig. 13 es un diagrama de fasor que muestra la relación entre las mediciones de voltaje  $V_{AN}$  y las mediciones de corriente,  $I_A$  según una realización del concepto descrito.

### Descripción de las realizaciones preferidas

30 Como se utiliza en la presente memoria, la afirmación de que dos o más piezas están “acopladas” entre sí significa que las piezas están unidas entre sí directamente o unidas a través de una o más piezas intermedias.

35 Tal y como se utiliza en la presente memoria, el término “número” significa uno o un entero mayor que uno (es decir, una pluralidad).

40 Tal y como se utiliza en la presente memoria, el término “procesador” se referirá a un dispositivo analógico y/o digital programable que puede almacenar, recuperar y procesar datos; un ordenador; una estación de trabajo; un ordenador personal; un procesador de señal digital; un microprocesador; un microcontrolador; un microordenador; una unidad de procesamiento central; un controlador; un ordenador central; un miniordenador; un servidor; un procesador en red; o cualquier dispositivo o aparato de procesamiento adecuado.

45 El concepto descrito proporciona un método y aparato que diagnostica polaridades de sensor de corriente y asociaciones de fases en diferentes configuraciones de cableado para relés protectores o medidores de energía o alimentación eléctrica en sistemas de alimentación eléctrica polifásica. El método y el aparato monitoriza los ángulos de fase entre las formas de onda de voltaje y corriente, y diagnostica polaridad y asociaciones de fase de los sensores de corriente en diferentes configuraciones de cableado usando los ángulos de fase monitorizados. Las corrientes y los voltajes se miden a través de sensores de voltaje y corriente, respectivamente, y los voltajes y las corrientes medidas se convierten en respectivas muestras discretas de voltaje y corriente mediante transformadores de analógico a digital. Se calcula un ángulo de fase entre el voltaje y la corriente para cada fase, y las polaridades y las asociaciones de fases de los sensores de corriente bajo diferentes configuraciones de cableado se diagnostican basándose en el ángulo de fase. Los resultados del diagnóstico se emiten para indicar las polaridades y las asociaciones de fase determinadas. Los resultados del diagnóstico pueden almacenarse y pueden usarse para solución de problemas u otros fines de diagnóstico

55 El concepto descrito proporciona un método y un aparato para validar los diagnósticos de sensor de corriente de circuito de ramificación basados en cálculos de energía real y reactiva. En otro aspecto más, el concepto descrito proporciona un método y un aparato para detectar la configuración de cableado de un sistema de alimentación eléctrica basándose en una relación de voltaje particular que se determina para el sistema de alimentación eléctrica.

60 El concepto descrito proporciona un método y aparato para diagnosticar condiciones de intercambio de voltaje en un sistema de alimentación eléctrica. Los detalles de cada uno de estos conceptos descritos según diversas realizaciones ilustrativas se describen en detalle en la presente memoria.

65 Las Figs. 1A y 1B son un diagrama esquemático de un sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación según una realización ilustrativa no limitativa en donde puede implementarse el concepto descrito. Para facilitar la

ilustración, el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación se divide entre las dos figuras separadas (Figs. 1A y 1B), con la Fig. 1A que muestra el cableado de la “Red eléctrica” y “Voltajes” y la Fig. 1B que muestra la configuración de cableado de circuito de ramificación.

5 Como se ve en las figuras 1A y 1B, el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación incluye una fuente 4 de alimentación principal, tal como, sin limitación, una fuente de alimentación de utilidad, que en la realización ilustrada es una fuente de alimentación de CA trifásica. La fuente 4 de alimentación principal proporciona fases A, B y C a un disyuntor principal 6 a través de una barra colectora 8 que tiene conductores 8A, 8B y 8C. El disyuntor principal 6 es un disyuntor de 3 polos convencional para proporcionar una funcionalidad de protección de circuitos al sistema 2 de  
10 monitorización de circuito de ramificación. La salida del disyuntor principal 6 está acoplada a una barra colectora 10 que tiene conductores 10A (que lleva la fase A), 10B (que lleva la fase B) y 10C (que lleva la fase C).

Como se ve en las figuras 1A y 1B, el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación incluye además una base 12 de medidor para proporcionar una funcionalidad de medición de energía para el sistema 2 de monitorización  
15 de circuito de ramificación. Los módulos 14A y 14B de medidor de circuito de ramificación primero y segundo están acoplados a la base 12 de medidor como se muestra. Cada módulo 14 de medidor de circuito de ramificación está estructurado para proporcionar la funcionalidad descrita brevemente anteriormente y con mayor detalle en la presente memoria. Aunque en la realización ilustrada el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación incluye un primer y un segundo módulos 14A y 14B de medidor de circuito de ramificación como se acaba de describir (cada uno asociado con un grupo particular de circuitos de ramificación), se entenderá que esto es solo  
20 ilustrativo, y que la funcionalidad de los dos módulos 14 de medidor de circuito de ramificación puede combinarse en un único módulo 14 de medidor de circuito de ramificación. Además, el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación también incluye más de 2 módulos 14 de medidor de circuito de ramificación, por ejemplo cuatro, seis u ocho de dichos módulos.

25 En la realización ilustrativa, cada módulo 14A, 14B de medidor de circuito de ramificación comprende un dispositivo informático que tiene un sistema de control que incluye un procesador 16A, 16B y una memoria 18A, 18B. El procesador 16A, 16B puede ser, por ejemplo, y sin limitación, un microprocesador ( $\mu$ P), un microcontrolador o algún otro dispositivo de procesamiento adecuado, que está interconectado con la memoria 18A, 18B. La memoria 18A, 18B puede ser una cualquiera o más de una variedad de tipos de medios de almacenamiento internos y/o externos tal como, sin limitarse a, RAM, ROM, EPROM(s), EEPROM(s), FLASH, y lo similar que proporcionan un registro de almacenamiento, es decir, un medio legible por máquina, para almacenamiento de datos tal como de la manera de un área de almacenamiento interno de un ordenador, y puede ser memoria volátil o memoria no volátil. La memoria 18A, 18B ha almacenado en la misma un número de rutinas que son ejecutables por el procesador 16. Una o más de las rutinas implementan (por medio de instrucciones ejecutables por ordenador/procesador) al menos una  
30 realización de los métodos analizados brevemente anteriormente y con mayor detalle a continuación para poner en servicio y diagnosticar sensores de voltaje y corriente que forman una parte del sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación bajo diferentes configuraciones de cableado.

40 Como se ve en las figuras 1A y 1B, el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación también incluye un número de cargas 20, etiquetadas 20A-20F, que son alimentadas por la energía recibida de la fuente 4 de alimentación principal. En particular, como se ve en la Fig. 1B, cada carga 20 está acoplada a uno o más de los conductores 10A, 10B, 10C de la barra colectora 10 principal a través de un disyuntor asociado 22, que puede ser un disyuntor de 1 polo (etiquetado 22-1), un disyuntor de 2 polos (etiquetado 22-2) o un disyuntor de 3 polos (denominado 22-3), según sea apropiado.  
45

En la Fig. 1A, el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación también incluye sensores 24A, 24B, 24C de voltaje para medir el voltaje de cada fase en la barra colectora 10 principal, y sensores 26A, 26B, 26C de corriente para medir la corriente de cada fase en la barra colectora 10 principal. Cada sensor 24 de voltaje puede ser, por ejemplo, y sin limitarse a, un transformador de potencial convencional, y cada sensor 26 de corriente puede ser, por ejemplo, y sin limitarse a, un transformador de corriente convencional. El sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación también incluye un sensor 28 de voltaje neutro y un sensor 30 de corriente neutro para medir el voltaje y corriente en una línea neutra 32. Las señales generadas por los sensores 24 de voltaje, los sensores 26 de corriente, el sensor 28 de voltaje neutro y el sensor 30 de corriente neutra se proporcionan a cada módulo 14 de medidor de  
50 circuito de ramificación para su uso como se describe en la presente memoria.

En la Fig. 1B, el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación incluye un número de sensores 34 de corriente de circuito de ramificación, en donde, como se ve en la Fig. 1B, cada sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está asociado con: (i) una fase particular de barra colectora 10 principal, (ii) un polo particular de uno particular de los disyuntores 22, y (iii) una carga particular 20. Cada sensor 34 de corriente de circuito de ramificación puede ser, por ejemplo, y sin limitarse a, un transformador de corriente convencional. Las señales generadas por los sensores 34 de corriente se proporcionan a uno de los módulos 14 de medidor de circuito de ramificación para su uso como se describe en la presente memoria. En la realización ilustrativa no limitativa, las señales generadas por los sensores 34 de corriente de circuito de ramificación ubicados en el lado izquierdo de la Fig. 1B y asociados con los disyuntores 22 en el lado izquierdo de la barra colectora 10 principal se proporcionan al módulo 14A de medidor de circuito de ramificación, y las señales generadas por los sensores 34 de corriente de  
60  
65

circuito de ramificación ubicados en el lado derecho de la Fig. 1B y asociados con los disyuntores 22 en el lado derecho de barra colectora 10 principal se proporcionan al módulo 14B de medidor de circuito de ramificación.

5 En el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación, como se acaba de describir, los sensores 24, 26, 28, 30 y 34 de voltaje y corriente son operables para medir formas de onda de voltaje y corriente, respectivamente. Las mediciones de voltaje son adquiridas de forma típica por los sensores de voltaje de una fase con respecto a una fase separada, o de una fase con respecto a un punto de referencia de voltaje (por ejemplo, neutro). Además, hay dos tipos de sensores de corriente en el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación. El primer tipo de sensor de corriente son los sensores 26 de corriente principales que están montados en los conductores 10A, 10B y 10C de la barra colectora 10 principal en un punto de entrada para, por ejemplo, un panel de servicio, y medir las corrientes agregadas para cada fase. El segundo tipo de sensor de corriente son los sensores 34 de corriente de circuito de ramificación. Los sensores 34 de corriente de circuito de ramificación están montados en cada circuito de ramificación asociado con una carga 20 respectiva, y miden la corriente del circuito de ramificación individual.

15 En la realización ilustrativa, los transformadores 42, 44 de analógico a digital descritos en otra parte en la presente memoria (Fig. 8) se usan para convertir mediciones de voltaje y corriente en muestras de voltaje y corriente discretas, respectivamente, en una frecuencia de muestreo  $f_s$ . La frecuencia de muestreo  $f_s$  se expresa de forma típica en hercios (Hz) o muestras por ciclo. Por ejemplo, dado un sistema de alimentación eléctrica con una frecuencia de utilidad de  $f_e = 60$  Hz, una frecuencia de muestreo de 512 muestras por ciclo es equivalente a una frecuencia de muestreo de 30.720 Hz.

20 Las mediciones de voltaje y corriente descritas anteriormente dependen de configuraciones de cableado. Para un sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación usado en un sistema de alimentación eléctrica trifásica, la configuración de cableado es de forma típica uno de los siguientes casos posibles: Wye trifásica de 4 alambres; Delta trifásica de 3 alambres; Delta trifásica de 4 alambres; Delta trifásica con conexión a tierra; Wye bifásica; Monofásica de 3 alambres; y Monofásica de 2 alambres. Para cada configuración de cableado, los sensores 24, 26, 28, 30 y 34 de voltaje y corriente se configuran en consecuencia para proporcionar mediciones de voltaje y corriente.

25 Descripción de diversas configuraciones de cableado

30 La descripción proporcionada a continuación describe las mediciones de voltaje y corriente que están asociadas con cada configuración de cableado particular indicada anteriormente. Esa descripción será útil para comprender las particularidades de los diversos aspectos del concepto descrito en cualquier otro sitio en la presente memoria.

35 Wye trifásica de 4 alambres

La Fig. 2 es un diagrama 36A de circuito de una configuración ilustrativa de cableado Wye trifásica de 4 alambres. En la práctica, el N neutro está conectado a tierra G a través de al menos una resistencia con alta resistencia a la supresión de sobrevoltajes causados por los arcos de desconexión.

40 En la configuración de cableado Wye trifásica de 4 alambres, las mediciones de voltaje se obtienen de forma típica por sensores de voltaje de una fase con respecto a un punto de referencia de voltaje, o de una fase con respecto a una fase separada. Por ejemplo, cuando las mediciones de voltaje son adquiridas por sensores de voltaje de una fase con respecto a un punto de referencia de voltaje en la Fig. 2, un sensor de voltaje destinado a la medición de voltaje  $V_{AN}$  se configura para medir voltaje de la fase A a neutro N. Un segundo sensor de voltaje destinado a la medición de voltaje  $V_{BN}$  se configura para medir voltaje de la fase B a neutro N. Un tercer sensor de voltaje destinado a la medición de voltaje  $V_{CN}$  se configura para medir voltaje de la fase C a neutro N.

45 De forma alternativa, cuando las mediciones de voltaje se adquieren por sensores de voltaje de una fase con respecto a una fase separada en la Fig. 2, un sensor de voltaje destinado a la medición de voltaje  $V_{AB}$  se configura para medir voltaje de la fase A a la fase B. Un segundo sensor de voltaje destinado a la medición de voltaje  $V_{BC}$  se configura para medir voltaje de la fase B a la fase C. Un tercer sensor de voltaje destinado a la medición de voltaje  $V_{CA}$  se configura para medir voltaje de la fase C a la fase A.

50 Vale la pena señalar que las mediciones de voltaje  $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$ ,  $V_{CA}$  se relacionan con las mediciones de voltaje  $V_{AN}$ ,  $V_{BN}$ ,  $V_{CN}$  mediante:

55 
$$V_{AB} = V_{AN} - V_{BN} \quad (1)$$

$$V_{BC} = V_{BN} - V_{CN} \quad (2)$$

$$V_{CA} = V_{CN} - V_{AN} \quad (3)$$
60

En la Fig. 2, la dirección positiva de la medición de corriente de la fase A  $I_A$  se define como el nodo "A" a nodo "n", y el voltaje  $V_{An}$  se define como el voltaje en el nodo "A" con respecto al voltaje en el nodo "n" en la misma figura. De la misma manera, se aplican definiciones similares a las cantidades  $I_B$ ,  $I_C$ , y  $V_{Bn}$ ,  $V_{Cn}$  de las fases B y C.

65

Delta trifásica de 3 alambres

La Fig. 3 es un diagrama 36B de circuito que muestra una configuración ilustrativa de cableado Delta trifásica de 3 alambres. El aumento del voltaje  $V_{AB}$  se define como el voltaje en el nodo "A" con respecto al voltaje en el nodo "B", y la corriente  $I_{AB}$  se define la corriente que fluye del nodo "A" al nodo "B". De la misma manera, se aplican definiciones similares a voltajes  $V_{BC}$ ,  $V_{CA}$  y corrientes  $I_{BC}$ ,  $I_{CA}$ .

En la Figura, la dirección positiva de la medición de corriente de fase A de  $I_A$  se define como desde la fuente al nodo "A". De la misma manera, se aplican definiciones similares a las cantidades  $I_B$  e  $I_C$  de las fases B y C.

Delta trifásica de 4 alambres

La Fig. 4 es un diagrama 36C de circuito que muestra una configuración ilustrativa de cableado Delta trifásica de 4 alambres. Esto también se conoce como configuración de cableado Delta de rama alta. En la práctica, el nodo "N" en un sistema Delta trifásico de 4 alambres es usualmente accesible, mientras que el nodo "n" en el mismo sistema Delta trifásico de 4 alambres no siempre se proporciona. Por consiguiente, las mediciones de voltaje  $V_{AN}$ ,  $V_{BN}$ ,  $V_{CN}$  y las mediciones de corriente  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  están disponibles, mientras los voltajes  $V_{An}$ ,  $V_{Bn}$ ,  $V_{Cn}$  no están disponibles de forma típica.

Delta trifásica con conexión a tierra

La Fig. 5 es un diagrama 36D de circuito que muestra 36C una configuración de cableado ilustrativa Delta trifásica con conexión a tierra. En la práctica, el nodo "N" en un sistema Delta trifásico con conexión a tierra usualmente es accesible, mientras que el nodo "n" en el mismo sistema Delta trifásico con conexión a tierra no siempre se proporciona. Por consiguiente, las mediciones de voltaje  $V_{AN}$ ,  $V_{CN}$  y las mediciones de corriente  $I_A$ ,  $I_C$  están disponibles, mientras los voltajes  $V_{An}$ ,  $V_{Bn}$ ,  $V_{Cn}$  no están disponibles de forma típica.

Wye bifásica

La configuración de cableado Wye bifásica es un caso especial de la configuración de cableado Wye trifásica de 4 alambres. En un sistema Wye bifásico, solo se usan 2 de 3 fases. Por ejemplo, la figura 6 es un diagrama 36E de circuito que muestra una configuración de cableado Wye bifásica ilustrativa solo con  $Z_A$  y  $Z_B$  conectados al lado de carga. En la práctica, el N neutro está conectado a tierra G a través de al menos una resistencia con alta resistencia a la supresión de sobrevoltajes causados por los arcos de desconexión.

Monofásica de 3 alambres

La Fig. 7 es un diagrama 36F de circuito que muestra una configuración ilustrativa de cableado monofásica de 3 alambres. Esto también se conoce como configuración de cableado de fase dividida. A diferencia de las configuraciones de cableado trifásicas, los nodos "A", "B" y "N" son todos salidas de un transformador de toma de central, con un nodo neutro "N" de forma típica conectado a tierra.

Según la Fig. 7, dadas las salidas de transformador equilibradas, las mediciones de voltaje  $V_{AN}$  y  $V_{BN}$  tienen la siguiente relación:

$$V_{AN} = -V_{BN} \quad (4)$$

Monofásica de 2 alambres

La configuración de cableado monofásica de 2 alambres es un caso especial de la configuración de cableado monofásica de 3 alambres. En un sistema monofásico de 2 alambres, solo se usan 1 de 2 fases. Por ejemplo, haciendo referencia a 7, cuando solo  $Z_A$  se conecta, entonces el sistema Wye monofásico de 3 alambres original se convierte en un sistema monofásico de 2 alambres.

Diagnóstico del sensor de corriente de circuito de ramificación

Un aspecto particular del concepto descrito proporciona una metodología de diagnóstico del sensor de corriente de circuito de ramificación que determina si un sensor de corriente de circuito de ramificación se ha configurado con una polaridad correcta y se asocia con una fase correcta. El diagnóstico del sensor de corriente de circuito de ramificación del concepto descrito, descrito con mayor detalle a continuación, primero obtiene información de configuración de cableado, y después usa el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente para determinar la configuración del sensor de corriente.

En relación con la implementación de este aspecto del concepto descrito, se proporcionan varios métodos para calcular el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente. También se proporcionan métodos de diagnóstico para

determinar si un sensor de corriente de circuito de ramificación se ha configurado con una polaridad correcta y se asocia con una fase correcta que es particular a cada configuración de cableado.

La Fig. 8 muestra una arquitectura global de un método y aparato de diagnóstico de sensor de corriente según una realización ilustrativa como se implementa por/en el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación que incluye módulos 14 de medidor de circuito de ramificación. El método y el aparato incluyen las siguientes cinco partes o etapas: (1) las mediciones 38 y 40 de voltaje y corriente son detectadas por los sensores 24, 28 de voltaje y los sensores 26, 30, 34 de corriente, respectivamente; (2) las mediciones 38 y 40 de voltaje y corriente se convierten en las respectivas muestras 46, 48 de voltaje y corriente mediante transformadores 42, 44 de analógico a digital (ADC); (3) un ángulo 50 de fase entre el voltaje y la corriente se calcula de forma típica para las fases A, B y C; (4) las polaridades del sensor de corriente y los diagnósticos 52 de asociaciones de fase se determinan basándose en configuraciones 54 de cableado predeterminadas (véase la descripción proporcionada en cualquier otro sitio en la presente memoria para una metodología para determinar automáticamente las configuraciones 54 de cableado según un aspecto adicional del concepto descrito); y (5) los resultados 56 de diagnóstico se emiten y pueden almacenarse y pueden usarse para solución de problemas u otros fines de diagnóstico. Un procesador 16 adecuado que forma una parte de cada módulo 14 de medidor de circuito de ramificación como se describe en la presente memoria se emplea para las últimas tres partes o etapas 50, 52, 56. El procesador 16 se puede acoplar a una pantalla 58 de ejemplo para la salida de los resultados 56 de diagnóstico. Aunque se muestran dos ADC 42, 44, se puede emplear un único ADC que tenga una pluralidad de canales para emitir muestras digitales de los voltajes y corrientes detectados.

Como se acaba de describir, la metodología de diagnóstico del sensor de corriente de circuito de ramificación del concepto descrito determina si un sensor 34 de corriente de circuito de ramificación se ha configurado con una polaridad correcta y se asocia con una fase correcta. En particular, la metodología primero obtiene información de configuración de cableado y, a continuación, usa el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente para determinar la configuración del sensor de corriente. A continuación se describen dos métodos alternativos que pueden usarse para calcular el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente para implementar la metodología de diagnóstico del sensor de corriente de circuito de ramificación del concepto descrito.

En un primer método, para cada fase, tal como la fase A, B, o C mostrada en las figuras 1A y 1B, el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente se puede calcular contando los números de muestras  $N_z$  desde el tiempo de cruce por cero de la muestra de voltaje al tiempo de cruce por cero de la muestra de corriente. Debido a que la frecuencia de muestreo  $f_s$  es una cantidad conocida, el número de muestras desde el tiempo de cruce por cero de la muestra de voltaje hasta el tiempo de cruce por cero de la muestra de corriente puede convertirse en una cantidad de tiempo  $T_z$  (en segundos) mediante:

$$T_z = N_z / f_s \quad (5)$$

donde  $f_s$  está en hercios (Hz).

Debido a que la frecuencia de utilidad  $f_e$  (en hercios) del sistema de alimentación eléctrica trifásico es de forma típica una cantidad conocida, la cantidad de tiempo  $T_z$  se convierte adicionalmente en un ángulo de fase entre el voltaje y la corriente, de forma típica expresada en grados ( $^\circ$ ) mediante:

$$\varphi = \text{rem}(360 \cdot T_z \cdot f_e, 360) \quad (6)$$

donde  $\text{rem}(\cdot, 360)$  denota el resto de una cantidad después de que se divide por 360.

La operación envuelve el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente a un valor no negativo entre 0 y  $360^\circ$ ; y simplifica el diagnóstico de sensor de corriente posterior.

Siguiendo la definición anterior, cuando las formas de onda de voltaje y corriente están en fase entre sí, después los tiempos de cruce por cero de la muestra de voltaje y corriente son idénticos. En consecuencia, el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente es de  $0^\circ$ . De cualquier otra manera, el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente es un valor positivo menor de  $360^\circ$ .

En un segundo método, cuando están disponibles la energía real  $P$  (en vatios), la energía aparente  $S$  (en voltios·amperios) y la información de avance/retraso de cada fase, el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente para cada fase se calcula calculando primero un ángulo de fase intermedio  $\varphi'$  usando la Tabla 1 a continuación.

Tabla 1. Método para calcular el ángulo de fase

| <b>P</b> | <b>S</b> | <b>Avance/Retraso</b> | <b><math>\varphi^F</math></b> |
|----------|----------|-----------------------|-------------------------------|
| >0       | ≠0       | Retraso               | $\arcsin(P/S)$                |
| <0       | ≠0       | Retraso               | $\arcsin(P/S)$                |
| <0       | ≠0       | Retraso               | $-\arcsin(P/S)$               |
| >0       | ≠0       | Retraso               | $-\arcsin(P/S)$               |
| =0       | ≠0       | Retraso               | $\pi/2$                       |
| =0       | ≠0       | Retraso               | $-\pi/2$                      |
| =0       | =0       | Sin definir           | Sin definir                   |

5 En la Tabla 1,  $\arcsin(\cdot)$  es una función de arcoseno cuyo rango está entre 0 y  $\pi$  inclusive, es decir,  $0 \leq \arcsin(\cdot) \leq \pi$ . Por ejemplo, si  $P < 0$  y avance, entonces  $\varphi^F = \arcsin(P/S)$ .

El ángulo de fase entre el voltaje y la corriente se obtiene después del ángulo de fase intermedio  $\varphi'$  mediante:

$$\varphi = \text{rem}[(\varphi' + 2\pi) \cdot 180 / \pi 360]. \quad (7)$$

10 Además, como se describe en detalle a continuación, según un aspecto adicional del concepto descrito, cada configuración de cableado diferente descrita en la presente memoria tiene un conjunto asociado de reglas para determinar si un sensor de corriente de circuito de ramificación en la configuración de cableado se ha configurado con una polaridad correcta y asociado con una fase correcta que usa el ángulo de fase determinado para el sensor en cuestión.

Más específicamente, para un sensor 34 de corriente de circuito de ramificación previsto para medir la corriente de fase A en una configuración de cableado Wye trifásica de 4 alambres, hay 6 escenarios posibles para este sensor 34 de corriente de circuito de ramificación particular:

- 1) El sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase A con una polaridad normal. En consecuencia, la medición de corriente desde el sensor de corriente de circuito de ramificación es  $I_A$ .
- 2) El sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase A con una polaridad invertida. Por consiguiente, la medición de corriente del sensor de corriente de circuito de ramificación es  $-I_A$ .
- 3) El sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase B con una polaridad normal. Por consiguiente, la medición de corriente desde el sensor de corriente de circuito de ramificación es  $I_B$ .
- 4) El sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase B con una polaridad invertida. Por consiguiente, la medición de corriente del sensor de corriente de circuito de ramificación es  $-I_B$ .
- 5) El sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase C con una polaridad normal. Por consiguiente, la medición de corriente desde el sensor de corriente de circuito de ramificación es  $I_C$ .
- 6) El sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase C con una polaridad invertida. Por consiguiente, la medición de corriente del sensor de corriente de circuito de ramificación es  $-I_C$ .

45 Similarmente, un sensor 34 de corriente de circuito de ramificación previsto para medir la corriente de fase B o C también tiene 6 escenarios posibles en cada caso. Según el concepto descrito, y como se describe con mayor detalle a continuación, la metodología de diagnóstico del sensor de corriente de circuito de ramificación determina qué escenario tiene un sensor 34 de corriente de circuito de ramificación particular analizando el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente según un conjunto de reglas (en forma de una tabla de consulta en la realización ilustrativa) que es específica para la configuración de cableado particular en cuestión, en donde las reglas relacionan el ángulo de fase con una asociación y polaridad de sensor particular.

En relación con el concepto descrito, se supone que todos los sensores 24, 28 de voltaje han sido configurados correctamente en polaridades y asociaciones de fase. Por ejemplo, en la configuración ilustrativa de cableado Wye trifásica de 4 alambres anterior, un sensor 24 de voltaje destinado a la medición de voltaje  $V_{AN}$  se configura correctamente para medir voltaje de la fase A a neutro N. Un segundo sensor 24 de voltaje destinado a la medición de voltaje  $V_{BN}$  se configura para medir correctamente voltaje de la fase B a neutro N. Un tercer sensor 24 de voltaje destinado a la medición de voltaje  $V_{CN}$  se configura para medir voltaje de la fase C a neutro N.

Además, debido a que la mayoría de los sistemas de alimentación eléctrica trifásicos modernos están regulados, se supone que los voltajes trifásicos se equilibran, es decir, las mediciones de voltaje  $V_{AN}$ ,  $V_{BN}$ ,  $V_{CN}$ , cuando se expresa en fasores, tienen la misma amplitud y están separadas a  $120^\circ$  grados entre sí.

Por consiguiente, según las ecuaciones (1)-(3), las mediciones de voltaje  $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$ ,  $V_C$ , cuando se expresa en fasores, tienen todas la misma amplitud, y están separadas a  $120^\circ$  grados entre sí, como se muestra en el diagrama 60 de fasor de la Fig. 9.

Para el propósito del concepto descrito, se supone una carga simétrica trifásica, es decir:

$$Z_A=Z_B=Z_C=Z, \quad (8)$$

y el ángulo de fase de impedancia de carga,  $\varphi$ , se limita a entre  $10^\circ$  de avance (carga capacitiva) y  $50^\circ$  de retraso (carga inductiva). Si el ángulo de fase de impedancia de carga,  $\varphi$ , se expresa como un valor no negativo entre 0 y  $360^\circ$ , después el límite anterior se traduce en  $0^\circ \leq \varphi < 50^\circ$  y  $350^\circ < \varphi < 360^\circ$ .

El rango de ángulo de fase de impedancia de carga anterior incluye: 1) cargas puramente resistivas, en donde el ángulo de fase de impedancia de carga es de  $\varphi=0^\circ$ ; 2) una porción principal de cargas inductivas, que incluyen motores de inducción, en donde la impedancia de carga tiene un ángulo de fase de retraso, es decir,  $0^\circ < \varphi < 50^\circ$ ; y 3) ciertas cargas capacitivas, en donde la impedancia de carga tiene un ángulo de fase de avance, es decir,  $350^\circ < \varphi < 360^\circ$ .

Mientras que la suposición anterior limita el ángulo de fase de impedancia de carga  $\varphi$  a un rango de  $0^\circ < \varphi < 50^\circ$  y  $350^\circ < \varphi < 360^\circ$ , se pueden usar alternativamente otros rangos de ángulo de fase de impedancia de carga. Por ejemplo, en un sistema predominado por cargas inductivas, el ángulo de fase de impedancia de carga  $\varphi$  se puede suponer alternativamente que varía de  $20^\circ$  de retraso (carga inductiva) a  $80^\circ$  de retraso (carga inductiva), es decir,  $20^\circ < \varphi < 80^\circ$ .

Como se indicó anteriormente, para cada configuración de cableado descrita en la presente memoria, el diagnóstico del sensor de corriente de circuito de ramificación tiene un conjunto diferente de reglas para determinar la asociación de fase de sensor y la polaridad basándose en el ángulo de fase determinado. Por lo tanto, según un aspecto del concepto descrito, cada configuración de cableado particular descrita en la presente memoria tiene una tabla asociada (denominada "Tabla de diagnóstico de sensor de corriente") que resume el conjunto de reglas aplicables a la configuración de cableado particular. La metodología de diagnóstico de sensor de corriente según el concepto descrito determina la polaridad y la asociación de fase del sensor de corriente leyendo entradas apropiadas en la tabla apropiada. Las Tablas de diagnóstico de sensor de corriente que son aplicables a las configuraciones de cableado Wye trifásica de 4 alambres; Delta trifásica de 3 alambres; Delta trifásica de 4 alambres; y Delta trifásica con conexión a tierra se describen en detalle en la solicitud de patente de Estados Unidos con número de publicación 2015/0042311. Como resultado, la razón detrás de esas tablas no se discute en detalle en la presente memoria. En cambio, la Tabla de diagnóstico de sensor de corriente para cada una de esas configuraciones de cableado se proporciona a continuación (Tablas 2-5) por comodidad de uso. Además, un aspecto del concepto descrito es la provisión de la Tabla de diagnóstico de sensor de corriente para las configuraciones de cableado Wye bifásica; monofásica de 3 alambres; y monofásica de 2 alambres, cada una de las cuales se describe en detalle a continuación (Tablas 6-8).

Tabla 2. Diagnóstico de sensor de corriente para la configuración de cableado Wye trifásica de 4 alambres

| $\varphi_A$                                                               |        | $\varphi_B$                                                               |        | $\varphi_C$                                                               |        |
|---------------------------------------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------------|--------|
| $0^\circ \leq \varphi_A < 50^\circ$ o $350^\circ < \varphi_A < 360^\circ$ | $I_A$  | $0^\circ \leq \varphi_B < 50^\circ$ o $350^\circ < \varphi_B < 360^\circ$ | $I_B$  | $0^\circ \leq \varphi_C < 50^\circ$ o $350^\circ < \varphi_C < 360^\circ$ | $I_C$  |
| $50^\circ < \varphi_A < 110^\circ$                                        | $-I_C$ | $50^\circ < \varphi_B < 110^\circ$                                        | $-I_A$ | $50^\circ < \varphi_C < 110^\circ$                                        | $-I_B$ |
| $110^\circ < \varphi_A < 170^\circ$                                       | $I_B$  | $110^\circ < \varphi_B < 170^\circ$                                       | $I_C$  | $110^\circ < \varphi_C < 170^\circ$                                       | $I_A$  |
| $170^\circ < \varphi_A < 230^\circ$                                       | $-I_A$ | $170^\circ < \varphi_B < 230^\circ$                                       | $-I_B$ | $170^\circ < \varphi_C < 230^\circ$                                       | $-I_C$ |
| $230^\circ < \varphi_A < 290^\circ$                                       | $I_C$  | $230^\circ < \varphi_B < 290^\circ$                                       | $I_A$  | $230^\circ < \varphi_C < 290^\circ$                                       | $I_B$  |
| $290^\circ < \varphi_A < 350^\circ$                                       | $-I_B$ | $290^\circ < \varphi_B < 350^\circ$                                       | $-I_C$ | $290^\circ < \varphi_C < 350^\circ$                                       | $-I_A$ |

Tabla 3. Diagnóstico de sensor de corriente para la configuración de cableado Delta trifásica de 3 alambres

| $\varphi_A$                                                                  |        | $\varphi_B$                                                                  |        | $\varphi_C$                                                                  |        |
|------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------|--------|
| $0^\circ \leq \varphi_A < 50^\circ$ o<br>$350^\circ < \varphi_A < 360^\circ$ | $I_A$  | $0^\circ \leq \varphi_B < 50^\circ$ o<br>$350^\circ < \varphi_B < 360^\circ$ | $I_B$  | $0^\circ \leq \varphi_C < 50^\circ$ o<br>$350^\circ < \varphi_C < 360^\circ$ | $I_C$  |
| $50^\circ < \varphi_A < 110^\circ$                                           | $-I_C$ | $50^\circ < \varphi_B < 110^\circ$                                           | $-I_A$ | $50^\circ < \varphi_C < 110^\circ$                                           | $-I_B$ |
| $110^\circ < \varphi_A < 170^\circ$                                          | $I_B$  | $110^\circ < \varphi_B < 170^\circ$                                          | $I_C$  | $110^\circ < \varphi_C < 170^\circ$                                          | $I_A$  |
| $170^\circ < \varphi_A < 230^\circ$                                          | $-I_A$ | $170^\circ < \varphi_B < 230^\circ$                                          | $-I_B$ | $170^\circ < \varphi_C < 230^\circ$                                          | $-I_C$ |
| $230^\circ < \varphi_A < 290^\circ$                                          | $I_C$  | $230^\circ < \varphi_B < 290^\circ$                                          | $I_A$  | $230^\circ < \varphi_C < 290^\circ$                                          | $I_B$  |
| $290^\circ < \varphi_A < 350^\circ$                                          | $-I_B$ | $290^\circ < \varphi_B < 350^\circ$                                          | $-I_C$ | $290^\circ < \varphi_C < 350^\circ$                                          | $-I_A$ |

Tabla 4. Diagnóstico de sensor de corriente para la configuración de cableado Delta trifásica de 4 alambres

| $\varphi_A$                                                                  |        | $\varphi_B$                                                                  |        | $\varphi_C$                                                                  |        |
|------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------|--------|
| $0^\circ \leq \varphi_A < 50^\circ$ o<br>$350^\circ < \varphi_A < 360^\circ$ | $I_A$  | $20^\circ < \varphi_B < 80^\circ$                                            | $I_B$  | $320^\circ < \varphi_B < 360^\circ$ o<br>$0^\circ \leq \varphi_B < 20^\circ$ | $I_C$  |
| $50^\circ < \varphi_A < 110^\circ$                                           | $-I_C$ | $80^\circ < \varphi_B < 140^\circ$                                           | $-I_A$ | $20^\circ < \varphi_C < 80^\circ$                                            | $-I_B$ |
| $110^\circ < \varphi_A < 170^\circ$                                          | $I_B$  | $140^\circ < \varphi_B < 200^\circ$                                          | $I_C$  | $80^\circ < \varphi_C < 140^\circ$                                           | $I_A$  |
| $170^\circ < \varphi_A < 230^\circ$                                          | $-I_A$ | $200^\circ < \varphi_B < 260^\circ$                                          | $-I_B$ | $140^\circ < \varphi_C < 200^\circ$                                          | $-I_C$ |
| $230^\circ < \varphi_A < 290^\circ$                                          | $I_C$  | $260^\circ < \varphi_B < 320^\circ$                                          | $I_A$  | $200^\circ < \varphi_C < 260^\circ$                                          | $I_B$  |
| $290^\circ < \varphi_A < 350^\circ$                                          | $-I_B$ | $320^\circ < \varphi_B < 360^\circ$ o<br>$0^\circ \leq \varphi_B < 20^\circ$ | $-I_C$ | $260^\circ < \varphi_C < 320^\circ$                                          | $-I_A$ |

Tabla 5. Diagnóstico de sensor de corriente para la configuración de cableado Delta trifásica con conexión a tierra

| $\varphi_A$                                                                  |        | $\varphi_B$  |   | $\varphi_C$                                                                  |        |
|------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|---|------------------------------------------------------------------------------|--------|
| $20^\circ < \varphi_A < 80^\circ$                                            | $I_A$  | no aplicable | - | $0^\circ \leq \varphi_A < 20^\circ$ o<br>$320^\circ < \varphi_A < 360^\circ$ | $I_C$  |
| $80^\circ < \varphi_A < 140^\circ$                                           | $-I_C$ | no aplicable | - | $20^\circ < \varphi_C < 80^\circ$                                            | $-I_B$ |
| $140^\circ < \varphi_A < 200^\circ$                                          | $I_B$  | no aplicable | - | $80^\circ < \varphi_C < 140^\circ$                                           | $I_A$  |
| $200^\circ < \varphi_A < 260^\circ$                                          | $-I_A$ | no aplicable | - | $140^\circ < \varphi_C < 200^\circ$                                          | $-I_C$ |
| $260^\circ < \varphi_A < 320^\circ$                                          | $I_C$  | no aplicable | - | $200^\circ < \varphi_C < 260^\circ$                                          | $I_B$  |
| $320^\circ < \varphi_A < 360^\circ$ o<br>$0^\circ \leq \varphi_A < 20^\circ$ | $-I_B$ | no aplicable | - | $260^\circ < \varphi_C < 320^\circ$                                          | $-I_A$ |

10 La discusión se cambiará ahora a la tabla de diagnóstico de sensor de corriente para las configuraciones de cableado Wye bifásica, monofásica de 3 alambres y monofásica de 2 alambres.

15 Con respecto a Wye bifásica, el ángulo de fase de impedancia de carga se limita a entre  $10^\circ$  de avance y  $50^\circ$  de retraso. Por lo tanto, el ángulo de fase entre el voltaje  $V_{An}$  y la medición de corriente  $I_A$  varía de  $10^\circ$  de avance a  $50^\circ$  de retraso. De la misma manera, el ángulo de fase entre el voltaje  $V_{Bn}$  y la medición de corriente  $I_B$  varía de  $10^\circ$  de avance a  $50^\circ$  de retraso. Esto es demostrado por el diagrama 62A de fasor de la Fig. 10A. Debido a que no hay carga conectada entre la fase C y el nodo "n" en la configuración de cableado Wye bifásica (figura), por lo tanto,  $I_C=0$ .

20 La ley de corriente de Kirchhoff dicta que la suma de las mediciones de corriente en el nodo "n" es 0, es decir,

$$I_A + I_B = 0. \quad (9)$$

Según la Figura,

$$I_A = V_{An}/Z_A, \quad I_B = V_{Bn}/Z_B. \quad (10)$$

Sustituir la ecuación (10) en la ecuación (9) produce

$$V_{An}/Z_A + V_{Bn}/Z_B = 0. \quad (11)$$

Obsérvese que la ecuación (11) se puede simplificar además usando la suposición de carga simétrica en la ecuación (8).

$$V_{An} + V_{Bn} = 0. \quad (12)$$

La medición de voltaje  $V_{AB}$  está relacionada con  $V_{An}$  y  $V_{Bn}$  mediante

$$V_{AB} = V_{An} - V_{Bn} \quad (13)$$

5 Añadir la ecuación (12) a la ecuación (13) produce

$$V_{AB} = 2V_{An} \quad (14)$$

10 Por lo tanto,  $V_{An} = V_{AB}/2$ , y  $V_{Bn} = -V_{AB}/2$ . Las mediciones de voltaje resultantes  $V_{AN}$ ,  $V_{BN}$ , y  $V_{CN}$ , cuando se expresan en fasores, se muestran en el diagrama 64 de fasor de la Fig. 11.

15 Debido a que  $I_C = 0$ , por lo tanto, si la amplitud de  $I_A$  es 0, es decir,  $|I_A| = 0$ , donde  $|\cdot|$  denota la amplitud de una cantidad de fasor, después el sensor 34 de corriente previsto para medir corriente de fase A se debe haber asociado erróneamente con el conductor de transporte de corriente de fase C.

15 Combinar las Figs. 10A y 11 produce la Fig. 10B. La Fig. 10B es un diagrama 62B de fasor que muestra relaciones entre las mediciones de voltaje  $V_{AN}$ ,  $V_{BN}$ ,  $V_{CN}$ , y las mediciones de corriente  $I_A$ ,  $I_B$ . Las áreas sombreadas en la Fig. 10B indican rangos angulares de mediciones de corriente con respecto a las mediciones de voltaje.

20 La Tabla 6 resume los casos de la Fig. 10B, y muestra el diagnóstico de sensor de corriente para la configuración de cableado Wye bifásica. Téngase en cuenta que en la Tabla 6,  $\varphi_A$  denota el ángulo de fase entre la medición de voltaje  $V_{AN}$  y la medición de corriente desde un sensor 34 de corriente previsto para medir la corriente de fase A,  $\varphi_B$  denota el ángulo de fase entre la medición de voltaje  $V_{BN}$  y la medición de corriente desde un sensor 34 de corriente previsto para medir la corriente de fase B. Debido a que  $I_C = 0$ , el ángulo de fase entre la medición de voltaje  $V_{CN}$  y la medición de corriente desde un sensor de corriente previsto para medir la corriente de fase C,  $\varphi_C$  no está disponible.

Tabla 6. Diagnóstico de sensor de corriente para la configuración de cableado Wye bifásica

| $\varphi_A$                                                                  |                | $\varphi_B$                                                                  |                | $\varphi_C$  |   |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|---|
| $0^\circ \leq \varphi_A < 20^\circ$ o<br>$320^\circ < \varphi_A < 360^\circ$ | $I_A$ o $-I_B$ | $0^\circ \leq \varphi_B < 20^\circ$ o<br>$260^\circ < \varphi_B < 360^\circ$ | -              | no aplicable | - |
| $20^\circ < \varphi_A < 140^\circ$                                           | -              | $20^\circ < \varphi_B < 80^\circ$                                            | $I_B$ o $-I_A$ | no aplicable | - |
| $140^\circ < \varphi_A < 200^\circ$                                          | $-I_A$ o $I_B$ | $80^\circ < \varphi_B < 200^\circ$                                           | -              | no aplicable | - |
| $200^\circ < \varphi_A < 260^\circ$                                          | -              | $200^\circ < \varphi_B < 260^\circ$                                          | $-I_B$ o $I_A$ | no aplicable | - |

30 En una configuración de cableado bifásica, si un primer sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está previsto para medir la corriente fase A, y un segundo sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está previsto para medir la corriente de fase B, después hay 8 escenarios posibles para estos sensores 34 de corriente de circuito de ramificación particulares.

35 1) El primer sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase A con una polaridad normal. El segundo sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase B con una polaridad normal. Por consiguiente, la medición de corriente desde el primer sensor de corriente de circuito de ramificación es  $I_A$ , y la medición de corriente desde el segundo sensor de corriente de circuito de ramificación es  $I_B$ .

40 2) El primer sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase A con una polaridad invertida. El segundo sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase B con una polaridad normal. Por consiguiente, la medición de corriente desde el primer sensor de corriente de circuito de ramificación es  $-I_A$ , y la medición de corriente desde el segundo sensor de corriente de circuito de ramificación es  $I_B$ .

45 3) El primer sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase A con una polaridad normal. El segundo sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase B con una polaridad invertida. Por consiguiente, la medición de corriente desde el primer sensor de corriente de circuito de ramificación es  $I_A$ , y la medición de corriente desde el segundo sensor de corriente de circuito de ramificación es  $-I_B$ .

50 4) El primer sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase A con una polaridad invertida. El segundo sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase B con una polaridad invertida. Por consiguiente, la medición de corriente desde el primer sensor de corriente de circuito de ramificación es  $-I_A$ , y la medición de corriente desde el segundo sensor de corriente de circuito de ramificación es  $-I_B$ .

55

5) El primer sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase B con una polaridad normal. El segundo sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase A con una polaridad normal. Por consiguiente, la medición de corriente desde el primer sensor de corriente de circuito de ramificación es  $I_B$ , y la medición de corriente desde el segundo sensor de corriente de circuito de ramificación es  $I_A$ .

6) El primer sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase B con una polaridad invertida. El segundo sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase A con una polaridad normal. Por consiguiente, la medición de corriente desde el primer sensor de corriente de circuito de ramificación es  $-I_B$ , y la medición de corriente desde el segundo sensor de corriente de circuito de ramificación es  $I_A$ .

7) El primer sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase B con una polaridad normal. El segundo sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase A con una polaridad invertida. Por consiguiente, la medición de corriente desde el primer sensor de corriente de circuito de ramificación es  $I_B$ , y la medición de corriente desde el segundo sensor de corriente de circuito de ramificación es  $-I_A$ .

8) El primer sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase B con una polaridad invertida. El segundo sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está cableado al conductor de transporte de corriente de fase A con una polaridad invertida. Por consiguiente, la medición de corriente desde el primer sensor de corriente de circuito de ramificación es  $-I_B$ , y la medición de corriente desde el segundo sensor de corriente de circuito de ramificación es  $-I_A$ .

Según la Tabla 6, para el primer sensor 34 de corriente de ramificación, si  $140^\circ \leq \varphi_A < 200^\circ$ , después el primer sensor 34 de corriente de ramificación no está correctamente cableado al conductor de transporte de corriente de fase A con una polaridad normal. Por lo tanto, los casos 2), 4), 5) y 7) de la lista anterior pueden detectarse como cableado incorrecto.

Según la Tabla 6, para el segundo sensor 34 de corriente de ramificación, si  $200^\circ \leq \varphi_B < 260^\circ$ , después este segundo sensor 34 de corriente de ramificación no está correctamente cableado al conductor de transporte de corriente de fase B con una polaridad normal. Por lo tanto, los casos 3), 4), 5) y 6) de la lista anterior pueden detectarse como cableado incorrecto.

Según la Tabla 6, para el primer sensor 34 de corriente de ramificación, si  $0^\circ \leq \varphi_A < 20^\circ$  o  $320^\circ < \varphi_A < 360^\circ$ , y para el segundo sensor 34 de corriente de ramificación, si  $20^\circ \leq \varphi_B < 80^\circ$ , después el caso 1) o el caso 8) de la lista anterior puedan dar como resultado tales resultados de detección.

En este caso, para diferenciar si el caso 1) o el caso 8) de la lista anterior es verdadero, otros indicadores, tal como una etiqueta de fase acoplada al sensor de corriente, y una etiqueta de fase acoplada al conductor de transporte de corriente, pueden ayudar a la determinación final.

Esta descripción a continuación describe etapas para diagnosticar sensores 34 de corriente para la configuración de cableado monofásica de 3 alambres usando los ángulos de fase entre las mediciones de voltaje  $V_{AN}$ ,  $V_{BN}$  y las mediciones de corriente  $I_A$ ,  $I_B$  respectivamente.

Según la configuración de cableado monofásica de 3 alambres (Fig. 7), las mediciones de voltaje  $V_{AN}$ ,  $V_{BN}$  están relacionadas con voltajes  $V_{An}$ ,  $V_{Bn}$  mediante

$$V_{AN} = V_{An} \quad (15)$$

$$V_{BN} = V_{Bn} \quad (16)$$

Por lo tanto, según las ecuaciones (15) y (16),  $V_{An} = -V_{Bn}$ .

La Fig. 12 es un diagrama de fasor que muestra las relaciones entre mediciones de voltaje  $V_{AN}$ ,  $V_{BN}$ , y mediciones de corriente  $I_A$ ,  $I_B$ . Las áreas sombreadas en la Fig. 12 indican rangos angulares de mediciones de corriente con respecto a las mediciones de voltaje.

La Tabla 7 resume los casos de la Fig. 12, y muestra el diagnóstico de sensor de corriente para la configuración de cableado monofásica de 3 alambres. Téngase en cuenta que en la Tabla 7,  $\varphi_A$  denota el ángulo de fase entre la medición de voltaje  $V_{AN}$  y la medición de corriente desde un sensor 34 de corriente previsto para medir la corriente de fase A,  $\varphi_B$  denota el ángulo de fase entre la medición de voltaje  $V_{BN}$  y la medición de corriente desde un sensor de corriente previsto para medir la corriente de fase B.

Tabla 7. Diagnóstico de sensor de corriente para la configuración de cableado monofásica de 3 alambres

| $\varphi_A$                                                                  |                | $\varphi_B$                                                                  |                |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| $0^\circ \leq \varphi_A < 50^\circ$ o<br>$350^\circ < \varphi_A < 360^\circ$ | $I_A$ o $-I_B$ | $0^\circ \leq \varphi_A < 50^\circ$ o<br>$350^\circ < \varphi_A < 360^\circ$ | $I_B$ o $-I_A$ |
| $50^\circ < \varphi_A < 170^\circ$                                           | -              | $50^\circ < \varphi_A < 170^\circ$                                           | -              |
| $170^\circ < \varphi_A < 230^\circ$                                          | $-I_A$ o $I_B$ | $170^\circ < \varphi_A < 230^\circ$                                          | $-I_B$ o $I_A$ |
| $200^\circ < \varphi_A < 350^\circ$                                          | -              | $200^\circ < \varphi_A < 350^\circ$                                          | -              |

Según la Tabla 7,  $\varphi_A$  o  $\varphi_B$  por sí solos no pueden determinar únicamente que el sensor 34 de corriente está correctamente asociado con el conductor de transporte de corriente de fase previsto, y que el sensor 34 de corriente tiene una polaridad normal. Por ejemplo, para un sensor de corriente previsto para medir la corriente de fase A, si  $0^\circ \leq \varphi_A < 50^\circ$  o  $350^\circ < \varphi_A < 360^\circ$ , el sensor de corriente puede ser cualquiera de las dos situaciones posibles siguientes:

- 1) El sensor 34 de corriente está asociado con un conductor de transporte de corriente de fase A, y tiene una polaridad normal.
- 2) El sensor 34 de corriente está asociado con el conductor de transporte de corriente de fase B, y al mismo tiempo tiene una polaridad invertida.

En este caso, otros indicadores, tal como una etiqueta de fase acoplada al sensor de corriente, y una etiqueta de fase acoplada al conductor de transporte de corriente, pueden ayudar a la determinación final.

La configuración de cableado monofásica de 2 alambres es un caso especial de la configuración de cableado monofásica de 3 alambres. La Fig. 13 es un diagrama 68 de fasor que muestra las relaciones entre mediciones de voltaje  $V_{AN}$ ,  $V_{BN}$ , y mediciones de corriente  $I_A$ ,  $I_B$ . Las áreas sombreadas en la Fig. 13 indican rangos angulares de mediciones de corriente con respecto a las mediciones de voltaje.

La Tabla 8 resume los casos de la Fig. 13, y muestra el diagnóstico de sensor de corriente para la configuración de cableado monofásica de 2 alambres. Téngase en cuenta que en la Tabla 8,  $\varphi_A$  denota el ángulo de fase entre la medición de voltaje  $V_{AN}$  y la medición de corriente desde un sensor 34 de corriente previsto para medir la corriente de fase A.

Tabla 8. Diagnóstico de sensor de corriente para la configuración de cableado monofásica de 2 alambres

| $\varphi_A$                                                                  |        |
|------------------------------------------------------------------------------|--------|
| $0^\circ \leq \varphi_A < 50^\circ$ o<br>$350^\circ < \varphi_A < 360^\circ$ | $I_A$  |
| $50^\circ < \varphi_A < 170^\circ$                                           | -      |
| $170^\circ < \varphi_A < 230^\circ$                                          | $-I_A$ |
| $200^\circ < \varphi_A < 350^\circ$                                          | -      |

Validación del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación

En el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación, después de que se realiza el diagnóstico de sensor de corriente como se describe en la presente memoria para cada circuito de ramificación, los resultados finales del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación pueden validarse además si los sensores 26 de corriente principales se han instalado y configurado en el mismo sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación. La discusión a continuación describe las etapas para validar los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación usando energía real P y energía reactiva Q.

Para cada sensor 34 de corriente de circuito de ramificación, están disponibles la energía real P (en vatios) y la energía aparente S (en voltios·amperios). Además, el factor de energía PF también está disponible. Dado un PF no cero, la energía reactiva Q (en vares) se calcula después mediante

$$Q = \frac{PF}{|PF|} \cdot \sqrt{S^2 - P^2} \tag{17}$$

donde  $|PF|$  es el valor absoluto del factor de energía.

Para las 4 configuraciones de cableado siguientes: Wye trifásica de 4 alambres, Delta trifásica de 3 alambres, Delta trifásica de 4 alambres, Delta trifásica con conexión a tierra, una vez que se ha completado el diagnóstico de sensor

de corriente como se describe en la presente memoria, cada sensor 34 de corriente de circuito de ramificación está asociado con un conductor 10A de transporte de corriente de fase A, o un conductor 10B de transporte de corriente de fase B, o alternativamente un conductor 10C de transporte de corriente de fase C. Se obtiene una energía real de fase A total  $P_{A,total}$  al sumar cantidades de energía real para todos los sensores 34 de corriente de circuito de ramificación que están asociados con un conductor 10A de transporte de corriente de fase A. Similarmente, se obtiene una energía real de fase B total  $P_{B,total}$  al sumar cantidades de energía real para todos los sensores 34 de corriente de circuito de ramificación que están asociados con el conductor 10B de transporte de corriente de fase B, y se obtiene una energía real de fase C total  $P_{C,total}$  al sumar cantidades de energía real para todos los sensores 34 de corriente de circuito de ramificación que están asociados con el conductor 10C de transporte de corriente de fase C. De la misma manera, se obtienen  $Q_{A,total}$ ,  $Q_{B,total}$ ,  $Q_{C,total}$  para el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación.

Para el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación basado en las 4 configuraciones de cableado anteriores, las cantidades totales de energía real y reactiva también se calculan a partir de las mediciones de voltaje realizadas por los sensores 24 de voltaje principales y las mediciones de corriente realizadas por el sensor 26 de corriente principal. Se denotan como  $P_{A,total}$ ,  $P_{B,total}$ ,  $P_{C,total}$  y  $Q_{A,total}$ ,  $Q_{B,total}$ ,  $Q_{C,total}$ .

La Tabla 9 a continuación muestra un método que puede usarse para validar los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación para las siguientes 4 configuraciones de cableado, Wye trifásica de 4 alambres, Delta trifásica de 3 alambres, Delta trifásica de 4 alambres, y Delta trifásica con conexión a tierra, según una realización ilustrativa de un aspecto del concepto descrito. Por ejemplo, si  $P_{B,total}=P_{B,total}$  y  $Q_{B,total}=Q_{B,total}$ , después los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación se validan como Aceptables para todos los sensores 34 de corriente asociados con conductores de transporte de corriente de fase B. Como otro ejemplo, si  $P_{C,total} \neq P_{C,total}$  o  $Q_{C,total} \neq Q_{C,total}$ , después los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación no se validan como Aceptables para todos los sensores 34 de corriente asociados con conductores de transporte de corriente de fase C.

Tabla 9. Validación del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación usando cantidades de energía reactiva y de energía real trifásica

|        |                                                                  |   |                                                                                                                       |
|--------|------------------------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fase A | $P_{A,total}=P_{A,total}$<br>$Q_{A,total}=Q_{A,total}$           | y | Los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación están validados como Aceptables.    |
|        | $P_{A,total} \neq P_{A,total}$<br>$Q_{A,total} \neq Q_{A,total}$ | o | Los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación no están validados como Aceptables. |
| Fase B | $P_{B,total}=P_{B,total}$<br>$Q_{B,total}=Q_{B,total}$           | y | Los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación están validados como Aceptables.    |
|        | $P_{B,total} \neq P_{B,total}$<br>$Q_{B,total} \neq Q_{B,total}$ | o | Los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación no están validados como Aceptables. |
| Fase C | $P_{C,total}=P_{C,total}$<br>$Q_{C,total}=Q_{C,total}$           | y | Los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación están validados como Aceptables.    |
|        | $P_{C,total} \neq P_{C,total}$<br>$Q_{C,total} \neq Q_{C,total}$ | o | Los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación no están validados como Aceptables. |

Siguiendo el método descrito anteriormente, para las dos configuraciones de cableado siguientes: Wye bifásica y monofásica de 3 alambres, se obtiene una energía real de fase A total  $P_{A,total}$  y una energía reactiva de fase A total  $Q_{A,total}$  al sumar las cantidades de energía real y reactiva para todos los sensores 34 de corriente de circuito de ramificación que están asociados con un conductor 10A de transporte de corriente de fase A, y se obtiene una energía real de fase B total  $P_{B,total}$  y una energía reactiva de fase B total  $Q_{B,total}$  al sumar las cantidades de energía real y reactiva para todos los sensores 34 de corriente de circuito de ramificación que están asociados con un conductor 10B de transporte de corriente de fase B.

Para el mismo sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación basado en las 2 configuraciones de cableado anteriores, las cantidades totales de energía real y reactiva también se calculan a partir de las mediciones de voltaje realizadas por los sensores 24 de voltaje principales y las mediciones de corriente realizadas por el sensor 26 de corriente principal. Se denotan como  $P_{A,total}$ ,  $P_{B,total}$ , y  $Q_{A,total}$ ,  $Q_{B,total}$ .

La Tabla 10 a continuación muestra un método que puede usarse para validar los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación para las 2 configuraciones de cableado siguientes, Wye bifásica y monofásica de 3 alambres, según otra realización ilustrativa de un aspecto del concepto descrito.

5 *Tabla 10.* Validación del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación usando cantidades de energía reactiva y de energía real bifásica

|        |                                                                  |   |                                                                                                                       |
|--------|------------------------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fase A | $P_{A,total} = P_{A,total}$<br>$Q_{A,total} = Q_{A,total}$       | y | Los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación están validados como Aceptables.    |
|        | $P_{A,total} \neq P_{A,total}$<br>$Q_{A,total} \neq Q_{A,total}$ | o | Los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación no están validados como Aceptables. |
| Fase B | $P_{B,total} = P_{B,total}$<br>$Q_{B,total} = Q_{B,total}$       | y | Los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación están validados como Aceptables.    |
|        | $P_{B,total} \neq P_{B,total}$<br>$Q_{B,total} \neq Q_{B,total}$ | o | Los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación no están validados como Aceptables. |

10 Para la configuración de cableado monofásica de 2 alambres, se obtiene una energía real de fase A total  $P_{A,total}$  y una energía reactiva de fase A total  $Q_{A,total}$  al sumar las cantidades de energía real y reactiva para todos los sensores 34 de corriente de circuito de ramificación que están asociados con un conductor 10A de transporte de corriente de fase A. Las cantidades totales de energía real y reactiva, denotadas como  $P_{A,total}$  y  $Q_{A,total}$ , también se calculan a partir de las mediciones de voltaje realizadas por los sensores 24 de voltaje principales y las mediciones de corriente realizadas por el sensor 26 de corriente principal.

La Tabla 11 muestra el método que puede usarse para validar los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación para las configuraciones de cableado monofásica de 2 alambres según un aspecto adicional del concepto descrito.

20 *Tabla 11.* Validación del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación usando cantidades de energía reactiva y de energía real monofásica

|        |                                                                  |   |                                                                                                                       |
|--------|------------------------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fase A | $P_{A,total} = P_{A,total}$<br>$Q_{A,total} = Q_{A,total}$       | y | Los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación están validados como Aceptables.    |
|        | $P_{A,total} \neq P_{A,total}$<br>$Q_{A,total} \neq Q_{A,total}$ | o | Los resultados del diagnóstico de sensor de corriente de circuito de ramificación no están validados como Aceptables. |

25 Determinación de la configuración de cableado

A continuación se proporciona una descripción de una metodología para determinar el número de fases en un sistema, tal como el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación, y después determinar además la configuración de cableado del sistema según otro aspecto adicional del concepto descrito. Esta metodología es, en la realización ilustrativa, realizada usando solo las mediciones de voltaje RMS realizadas por sensores 24, 28 de voltaje y se asume que los terminales de voltaje no usados de los módulos 14A, 14B de medidor de circuito de ramificación están vinculados al nodo de voltaje neutro que comprende el conductor neutro 32.

La metodología de este aspecto del concepto descrito usa mediciones de voltaje de Línea a Línea y Línea a Neutro para determinar la configuración de cableado sin información de ángulo de fase. En particular, los sensores 24, 28 de voltaje proporcionarán mediciones de voltaje de Línea a Neutro para cada uno de los conductores 10A, 10B, 10C de la barra colectora 10 principal (es decir, cada fase) a los módulos 14 de medidor de circuito de ramificación. A partir de esa información, los módulos 14 de medidor de circuito de ramificación pueden determinar mediciones de voltaje de Línea a Línea para cada uno de los conductores 10A, 10B, 10C de la barra colectora 10 principal (es decir, cada fase). Para distinguir entre sistemas monofásicos y polifásicos, la metodología establece primero el número de mediciones de voltaje no cero de Línea a Neutro que se realizan por los sensores 24, 28 de voltaje. Si solo hay dos mediciones no cero, puede establecerse que el sistema es una configuración monofásica de 2 alambres. Si hay tres mediciones no cero, el sistema podría ser una configuración Wye bifásica, monofásica de 3 alambres o trifásica.

Además,  $V_{\min}$  se refiere a la medición de voltaje más pequeña de Línea a Línea, y  $V_{\max}$  se refiere a la medición de voltaje más grande de Línea a Línea. Si  $V_{\max}$  es igual a  $V_{\min}$ , la metodología establecerá que el sistema es un sistema trifásico. Si  $V_{\max}$  es el doble del valor de  $V_{\min}$ , la metodología establecerá que el sistema es una división bifásica. Si  $V_{\max}$  es mayor que  $V_{\min}$  por un factor de la raíz cuadrada de 3, la metodología establecerá que el sistema es un Wye bifásico. Una realización ilustrativa particular determina la fase matemáticamente determinando la relación de  $V_{\min}:V_{\max}$  y usando los siguientes límites (límites determinados como el punto medio entre los dos valores esperados):

$$\frac{V_{\min}}{V_{\max}} = V_{\text{relación}}$$

10 *si  $V_{\text{relación}} > 0,789$  entonces la configuración de cableado es una configuración trifásica*

*si  $V_{\text{relación}} < 0,539$  entonces la configuración de cableado es una configuración monofásica de 3 alambres*

15 *si  $0,789 \geq V_{\text{relación}} \geq 0,539$  entonces la configuración de cableado es una configuración Wye bifásica*

Si, bajo la metodología, se determina que el sistema es un sistema trifásico, el sistema puede clasificarse además como un Delta con conexión a tierra, Delta de 4 alambres, o un Wye equilibrado de 4 alambres dependiendo de las mediciones de voltaje de Línea a Neutro. Un Delta trifásico de 3 alambres puede clasificarse por la ausencia de una medición de voltaje de Línea a Neutro. En este aspecto,  $V_{\min}$  se refiere a la fase con la medición de voltaje más pequeña de Línea a Neutro, y  $V_{\max}$  se refiere a la fase con la medición de voltaje más grande de Línea a Neutro. A continuación, la metodología divide  $V_{\min}$  por  $V_{\max}$ . En el caso de Delta con conexión a tierra, el valor mín debería ser cero o próximo a este. En el caso de Delta de 4 alambres, también conocido como Delta de alta rama o Delta con derivación central, se espera que el valor  $V_{\text{relación}}$  esté próximo a  $1/\sqrt{3}$  o uno sobre la raíz cuadrada de 3. En el caso de una configuración Wye de 4 alambres, el valor de  $V_{\text{relación}}$  será 1 si el sistema está perfectamente equilibrado, pero ciertamente no muy inferior a 1. Por lo tanto, un método adecuado para distinguir entre las tres configuraciones identificadas anteriormente es el siguiente:

$$\frac{V_{\min}}{V_{\max}} = V_{\text{relación}}$$

$$\frac{2}{\sqrt{3} + 1} = 0,732$$

$$\frac{0,732 + 0}{2} = 0,366$$

30 *si  $V_{\text{relación}} < 0,366$ , entonces la configuración de voltaje es Delta con conexión a tierra*

*si  $0,366 \leq V_{\text{relación}} \leq 0,732$  entonces la configuración de voltaje es Delta de 4 alambres*

35 *si  $V_{\text{relación}} > 0,732$  entonces la configuración de voltaje es Wye de 4 alambres*

#### Diagnóstico de condiciones de intercambio de voltaje

40 Un aspecto adicional del concepto descrito se refiere a diagnosticar condiciones de intercambio de voltaje. Para configuraciones de cableado equilibradas, las fases de voltaje son intercambiables e indistinguibles entre sí. Sin embargo, las configuraciones que utilizan un Voltaje Neutro se pueden cablear erróneamente por intercambio del voltaje Neutro con uno de Fase (denominado intercambio neutro). También, en configuraciones con voltajes desequilibrados, puede producirse un mal cableado entre Fases (denominado intercambio de fases). Ambos errores de mal cableado pueden ser diagnosticados.

45 El Intercambio Neutro se puede producir en configuraciones Wye trifásica de 4 alambres, Delta trifásica de 4 alambres y monofásica de 3 alambres. Para diagnosticar Intercambios Neutros con cualquiera de las configuraciones trifásicas, se toma una muestra de las mediciones de voltaje de Línea a Línea (es decir, se muestrea cada fase).  $V_{\min}$  se refiere a la fase con la medición de voltaje más pequeña de Línea a Línea, y  $V_{\max}$  se refiere a la fase con la medición de voltaje más grande de Línea a Línea. A continuación, la metodología divide  $V_{\min}$  por  $V_{\max}$ . Las siguientes tablas 12 y 13 muestran los valores posibles de  $V_{\text{relación}}$  de un sistema basado en  $120V_{LN}$  para el cableado correcto, y el intercambio de Neutro con cualquier fase de un Wye de 4 alambres o Delta de 4 alambres:

55

Tabla 12 - Intercambio Neutro para la configuración Wye de 4 alambres

| Configuración Wye de 4 alambres |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Correcto                        | Intercambio N con Fase      |
| $V_{\min}=208 \text{ V}$        | $V_{\min}=120 \text{ V}$    |
| $V_{\max}=208 \text{ V}$        | $V_{\max}=208 \text{ V}$    |
| $V_{\text{relación}}=1$         | $V_{\text{relación}}=0,577$ |

5

Tabla 13 - Intercambio Neutro para la configuración Delta de 4 alambres

| Configuración Delta de 4 alambres |                             |                             |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Correcto                          | Intercambio N con alta rama | Intercambio N con baja rama |
| $V_{\min}=240 \text{ V}$          | $V_{\min}=120 \text{ V}$    | $V_{\min}=120 \text{ V}$    |
| $V_{\max}=240 \text{ V}$          | $V_{\max}=240 \text{ V}$    | $V_{\max}=208 \text{ V}$    |
| $V_{\text{relación}}=1$           | $V_{\text{relación}}=0,5$   | $V_{\text{relación}}=0,577$ |

10

Por lo tanto, un método adecuado para detectar si el punto de medición del conductor neutro 32 se ha cableado correctamente es como sigue:

$$\frac{V_{\min}}{V_{\max}} = V_{\text{relación}}$$

$$\frac{2}{\sqrt{3+1}} = 0,732$$

15

si  $V_{\text{relación}} > 0,732$  entonces el Neutro se ha cableado correctamente

si  $V_{\text{relación}} \leq 0,732$  entonces el Neutro se ha cableado incorrectamente

20

Para diagnosticar una condición de intercambio neutro con la configuración monofásica de 3 alambres, se toma una muestra de tono de los voltajes de Línea a Neutro de cada fase.  $V_A$  se refiere al primer voltaje y  $V_B$  se refiere al segundo voltaje. Si uno es inferior al otro por  $\frac{1}{2}$ , entonces el inferior se intercambia con neutro. La siguiente tabla 14 muestra valores de ejemplo de un sistema basado en  $120V_{LN}$  para el cableado correcto, y el intercambio de Neutro con cualquier fase:

25

Tabla 14 - Intercambio Neutro para la configuración monofásica de 3 alambres

| Configuración monofásica de 3 alambres |                          |                          |
|----------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Correcto                               | Intercambio N con Fase A | Intercambio N con Fase B |
| $V_A=120 \text{ V}$                    | $V_A=120 \text{ V}$      | $V_A=240 \text{ V}$      |
| $V_B=120 \text{ V}$                    | $V_B=240 \text{ V}$      | $V_B=120 \text{ V}$      |

30

Se puede detectar una condición de intercambio de fase en la configuración de fase desequilibrada Delta trifásica de 4 alambres con su identificación de la alta rama. Según otro aspecto del concepto descrito, se toma una muestra de los voltajes de Línea a Neutro de cada fase.  $V_A$ ,  $V_B$ , y  $V_C$  se refieren a los voltajes de cada fase. La alta rama puede identificarse después por el voltaje con el valor más alto. La siguiente tabla 15 muestra valores de ejemplo de un sistema basado en  $120V_{LN}$ :

Tabla 15 - Intercambio de Fase para la configuración monofásica de 3 alambres

| Configuración monofásica de 3 alambres |                       |                       |
|----------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| $V_A$ es de alta rama                  | $V_B$ es de alta rama | $V_C$ es de alta rama |
| $V_A=208 \text{ V}$                    | $V_A=120 \text{ V}$   | $V_A=120 \text{ V}$   |
| $V_B=120 \text{ V}$                    | $V_B=208 \text{ V}$   | $V_B=120 \text{ V}$   |
| $V_C=120 \text{ V}$                    | $V_C=120 \text{ V}$   | $V_C=208 \text{ V}$   |

35

Un desajuste en la alta rama esperada respecto de la alta rama identificada sería un mal cableado.

Grupo de sensores de circuito de ramificación

Según un aspecto adicional del concepto descrito, como parte del proceso de puesta en servicio para el sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación, los sensores 34 de circuito de ramificación se agrupan en medidores virtuales. Estos son altamente dependientes del diseño físico del sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación, y pueden diagnosticarse con información sobre el diseño físico, y con datos de los sensores de voltaje y corriente de los pares asociados.

Para un sistema polifásico, el diseño físico de los circuitos de ramificación (estando asociado cada circuito de ramificación con un solo polo de un disyuntor 22) de forma típica está en orden de fase repetitivo, o en orden de fase inverso repetitivo. Al identificar la posición de cada circuito de ramificación en el diseño físico del sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación, se pueden encontrar errores de fase si las ramificaciones no siguen uno de los órdenes prescritos.

A continuación en la Tabla 16 aparecen diseños físicos típicos para 6 ramificaciones de sistemas trifásicos y bifásicos. Los sistemas trifásicos o bifásicos que no usan uno de estos diseños generarían un error.

Tabla 16 - Diseños físicos típicos para 6 ramificaciones de sistemas trifásicos y bifásicos

|                                            | Mapeo del diseño físico<br>A fases del circuito de ramificación |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Orden de fase repetitivo trifásico         | ABCABC                                                          |
| Orden de fase inverso repetitivo trifásico | CBACBA                                                          |
| Orden de fase repetitivo bifásico          | ABABAB                                                          |
| Orden de fase inverso repetitivo bifásico  | BABABA                                                          |

Uno, dos o tres sensores 34 de corriente de circuito de ramificación se pueden agrupar para crear un medidor virtual. Un medidor virtual de forma típica monitoriza diferentes fases de la misma carga 20 equilibrada, tal como un motor HVAC o trifásico, y de forma típica adyacentes entre sí físicamente. Por lo tanto, un medidor virtual típico puede definir sus circuitos de ramificación para cargas activas según los siguientes criterios: (i) cada circuito de ramificación y el sensor 34 de corriente de circuito de ramificación asociado en un medidor virtual deberían enlazarse a una fase diferente sin fases duplicadas; (ii) todos los circuitos de ramificación y el sensor 34 de corriente de circuito de ramificación asociado en un medidor virtual deberían tener el mismo ángulo de fase o similar; (iii) todos los circuitos de ramificación y el sensor 34 de corriente de circuito de ramificación asociado en un medidor virtual deberían tener la misma corriente o similar; (iv) todos los circuitos de ramificación y el sensor 34 de corriente de circuito de ramificación asociado en un medidor virtual deberían estar adyacentes en el diseño físico

Al analizar cada corriente, ángulo de fase y posición en el diseño físico de cada circuito de ramificación y el sensor 34 de corriente de circuito de ramificación asociado, pueden identificarse medidores virtuales con un alto grado de confianza.

Según el concepto descrito, el análisis comienza con la identificación de los posibles medidores virtuales para cada circuito de ramificación y el sensor 34 de corriente de circuito de ramificación asociado según el diseño físico del sistema 2 de monitorización de circuito de ramificación. Por ejemplo, la Tabla 17 a continuación muestra un circuito de ramificación típico en un sistema trifásico que puede ser parte de hasta 3 posibles medidores trifásicos o 2 posibles medidores bifásicos, como se ilustra a continuación.

Tabla 17 - Posibles medidores virtuales para un circuito de ramificación típico

| Posibles medidores<br>En un sistema trifásico<br>Para el circuito de ramificación A |                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 3 posibles medidores trifásicos                                                     | ABC <u>ABC</u> A ABC <u>ABC</u> A<br><u>ABC</u> ABC |
| 2 posibles medidores bifásicos                                                      | ABC <u>ABC</u> A ABC <u>ABC</u> A                   |

Las ramificaciones y el sensor 34 de corriente de circuito de ramificación asociado ubicado cerca del borde del diseño físico tendrán menos posibles medidores que los ubicados lejos del borde.

Este método solo identifica los medidores trifásicos en los sistemas wye trifásicos de 4 alambres y delta trifásicos de 3 alambres, y los medidores bifásicos en sistemas monofásicos de 3 alambres.

5 A continuación, para cada medidor virtual posible, su varianza del ángulo de fase de circuito de ramificación se calcula usando esta ecuación de varianza:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x-\mu)^2}{N},$$

10 donde x es cada uno de los ángulos de fase de circuito de ramificación en el posible medidor virtual, u es el promedio de los ángulos de fase de circuito de ramificación en el posible medidor virtual, y N es el número de ramificaciones y sensores 34 de corriente de circuito de ramificación asociados en el posible medidor virtual. La varianza de la corriente de circuito de ramificación para cada posible medidor virtual también se calcula usando la misma ecuación, donde x es cada una de las corrientes de circuito de ramificación en el posible medidor virtual, u es el promedio de las corrientes de circuito de ramificación en el posible medidor virtual, y N es el número de ramificaciones y sensores 34 de corriente de circuito de ramificación asociados en el posible medidor virtual.

15 Después, para cada circuito de ramificación y el sensor 34 de corriente de circuito de ramificación asociado, se determina un medidor virtual candidato comparando todas las varianzas de todos los posibles medidores virtuales que lo incluyen. Si uno de los medidores virtuales que incluye el circuito de ramificación tiene la varianza más baja del ángulo de fase de circuito de ramificación y la varianza más baja de corriente de circuito de ramificación, se determina que es un medidor virtual candidato. De cualquier otra manera, no hay un medidor virtual candidato para esa ramificación.

20 Si hay un posible medidor virtual donde cada uno de sus circuitos de ramificación ha determinado el posible medidor virtual para ser su medidor virtual candidato, entonces ese posible medidor virtual se identifica como un medidor virtual con alta confianza.

25 Para aumentar la confianza, se puede colocar un filtro en las varianzas, de modo que si la varianza entre los ángulos de fase o las corrientes es demasiado alta, no se identifica ningún medidor candidato.

30 Si bien se han descrito en detalle realizaciones específicas del concepto descrito, los expertos en la técnica apreciarán que se podrían desarrollar diversas modificaciones y alternativas a estos detalles en vista de las enseñanzas generales de la descripción. En consecuencia, las disposiciones particulares descritas pretenden ser únicamente ilustrativas y no limitativas en cuanto al alcance del concepto descrito, al que se le debe dar toda la amplitud de las reivindicaciones adjuntas.

35

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para un sistema (2) de monitorización de corriente de ramificación que emplea una configuración de cableado Wye bifásica, en donde el sistema (2) de monitorización de corriente de ramificación tiene una primera fase y una segunda fase, comprendiendo el método:

obtener una medición de voltaje usando un sensor (24) de voltaje asociado con la primera fase; obtener una medición de corriente usando un sensor (34) de corriente de circuito de ramificación, en donde el sensor (34) de corriente de circuito de ramificación está previsto para medir una corriente de fase de la primera fase; determinar un ángulo de fase entre la medición de voltaje y la medición de corriente; y usar el ángulo de fase y un conjunto de reglas que incluyen una pluralidad de reglas predeterminadas para identificar al menos una asociación de fase y al menos una polaridad para el sensor (34) de corriente de circuito de ramificación, en donde el uso del ángulo de fase y el conjunto de reglas comprende:

determinar que el sensor (34) de corriente de circuito de ramificación es uno de: (i) asociado con la primera fase con una polaridad normal o (ii) asociado con la segunda fase con una polaridad invertida en respuesta a que el ángulo de fase satisfaga una primera de las reglas; o

determinar que el sensor (34) de corriente de circuito de ramificación es uno de: (i) asociado con la primera fase con una polaridad invertida o (ii) asociado con la segunda fase con una polaridad normal en respuesta a que el ángulo de fase satisfaga una segunda de las reglas, en donde la primera de las reglas comprende que el ángulo de fase esté dentro de un primer rango o un segundo rango y la segunda de las reglas comprende que el ángulo de fase esté dentro de un tercer rango, y en donde el primer rango es mayor o igual a 0° y menor de 20°, en donde el segundo rango es mayor de 320° y menor de 360°, y en donde el tercer rango es mayor de 140° y menor de 200°; o

determinar que el sensor (34) de corriente de circuito de ramificación es uno de: (i) asociado con la primera fase con una polaridad normal o (ii) asociado con la segunda fase con una polaridad invertida en respuesta a que el ángulo de fase satisfaga una tercera de las reglas; o

determinar que el sensor (34) de corriente de circuito de ramificación es uno de: (i) asociado con la primera fase con una polaridad invertida o (ii) asociado con la segunda fase con una polaridad normal en respuesta a que el ángulo de fase satisfaga una cuarta de las reglas, en donde la tercera de las reglas comprende que el ángulo de fase esté dentro de un cuarto rango y la cuarta de las reglas comprende que el ángulo de fase esté dentro de un quinto rango, y en donde el cuarto rango es mayor de 20° y menor de 80°, y en donde el quinto rango es mayor de 200° y menor de 260°.

2. Un módulo (14) de medidor de circuito de ramificación para un sistema (2) de monitorización de corriente de ramificación que emplea una configuración de cableado Wye bifásica, en donde el sistema (2) de monitorización de corriente de ramificación tiene una primera fase y una segunda fase, comprendiendo el módulo (14) de medidor de circuito de ramificación:

un sistema (16, 18) de control, en donde el sistema (16, 18) de control almacena y está estructurado para ejecutar un número de rutinas, estando estructurado el número de rutinas para:

recibir una medición de voltaje desde un sensor (24) de voltaje asociado con la primera fase;

recibir una medición de corriente desde un sensor (34) de corriente de circuito de ramificación, en donde el sensor (34) de corriente de circuito de ramificación está previsto para medir una corriente de fase de la primera fase;

determinar un ángulo de fase entre la medición de voltaje y la medición de corriente; y usar el ángulo de fase y un conjunto de reglas que incluyen una pluralidad de reglas predeterminadas para identificar al menos una asociación de fase y al menos una polaridad para el sensor (34) de corriente de circuito de ramificación, en donde las rutinas están estructuradas para usar el ángulo de fase y un conjunto de reglas al:

determinar que el sensor (34) de corriente de circuito de ramificación es uno de: (i) asociado con la primera fase con una polaridad normal o (ii) asociado con la segunda fase con una polaridad invertida en respuesta a que el ángulo de fase satisfaga una primera de las reglas; o

determinar que el sensor (34) de corriente de circuito de ramificación es uno de: (i) asociado con la primera fase con una polaridad invertida o (ii) asociado con la segunda fase con una polaridad normal en respuesta a que el ángulo de fase satisfaga una segunda de las reglas, en donde la primera de las reglas comprende que el ángulo de

- 5 fase esté dentro de un primer rango o un segundo rango y la segunda de las reglas comprende que el ángulo de fase esté dentro de un tercer rango, en donde el primer rango es mayor o igual a  $0^\circ$  y menor de  $20^\circ$ , en donde el segundo rango es mayor de  $320^\circ$  y menor de  $360^\circ$ , y en donde el tercer rango es mayor de  $140^\circ$  y menor de  $200^\circ$ ; o
- 10 determinar que el sensor (34) de corriente de circuito de ramificación es uno de: (i) asociado con la primera fase con una polaridad normal o (ii) asociado con la segunda fase con una polaridad invertida en respuesta a que el ángulo de fase satisfaga una tercera de las reglas; o
- 15 determinar que el sensor (34) de corriente de circuito de ramificación es uno de: (i) asociado con la primera fase con una polaridad invertida o (ii) asociado con la segunda fase con una polaridad normal en respuesta a que el ángulo de fase satisfaga una cuarta de las reglas, en donde la tercera de las reglas comprende que el ángulo de fase esté dentro de un cuarto rango y la cuarta de las reglas comprende que el ángulo de fase esté dentro de un quinto rango, y en donde el cuarto rango es mayor de  $20^\circ$  y menor de  $80^\circ$ , y en donde el quinto rango es mayor de  $200^\circ$  y menor de  $260^\circ$ .
3. Un medio (18) legible por ordenador no transitorio que almacena uno o más programas, incluyendo instrucciones, que cuando son ejecutadas por un ordenador, hacen que el ordenador realice el método de la reivindicación 1.

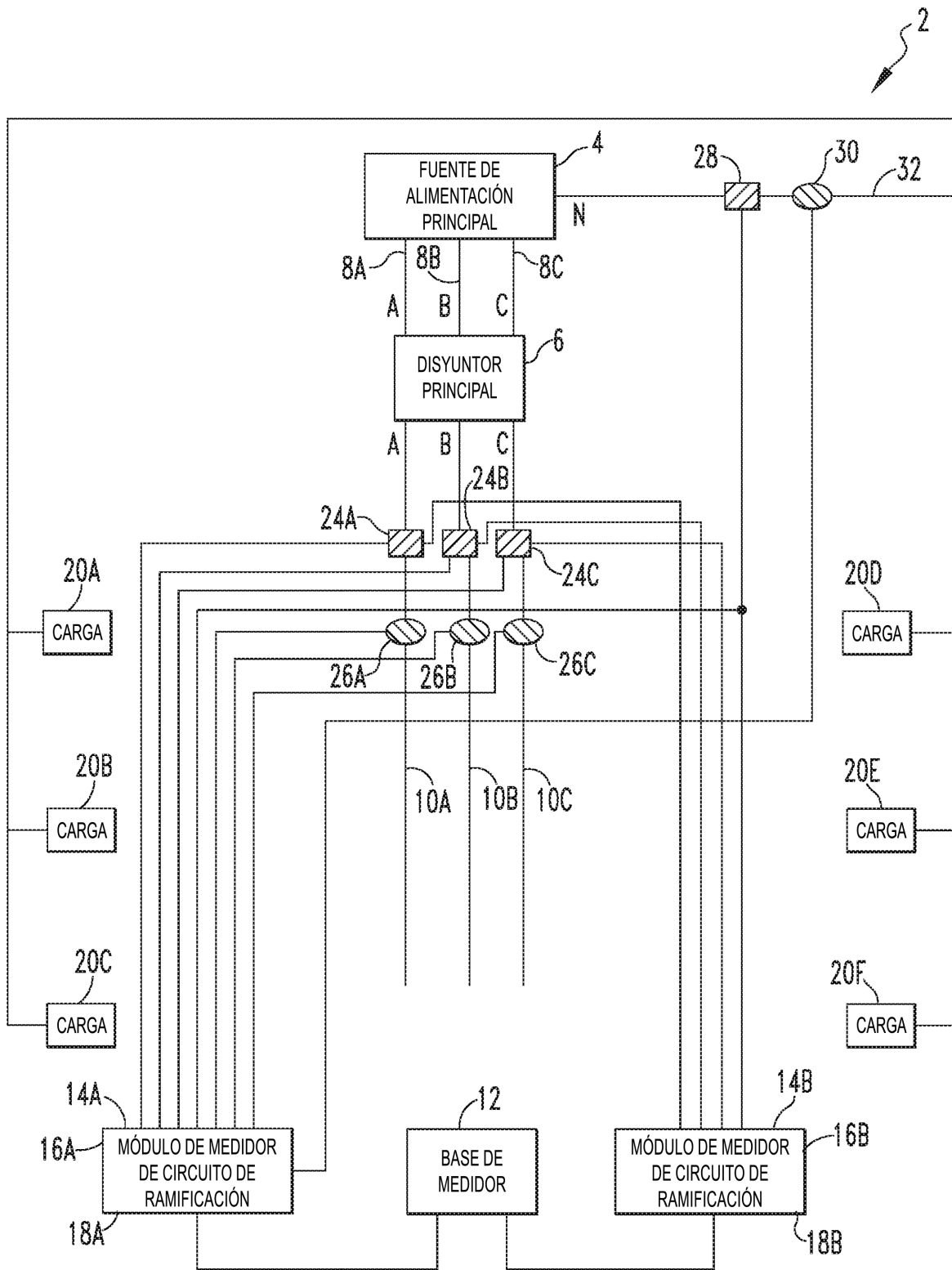


FIG.1A

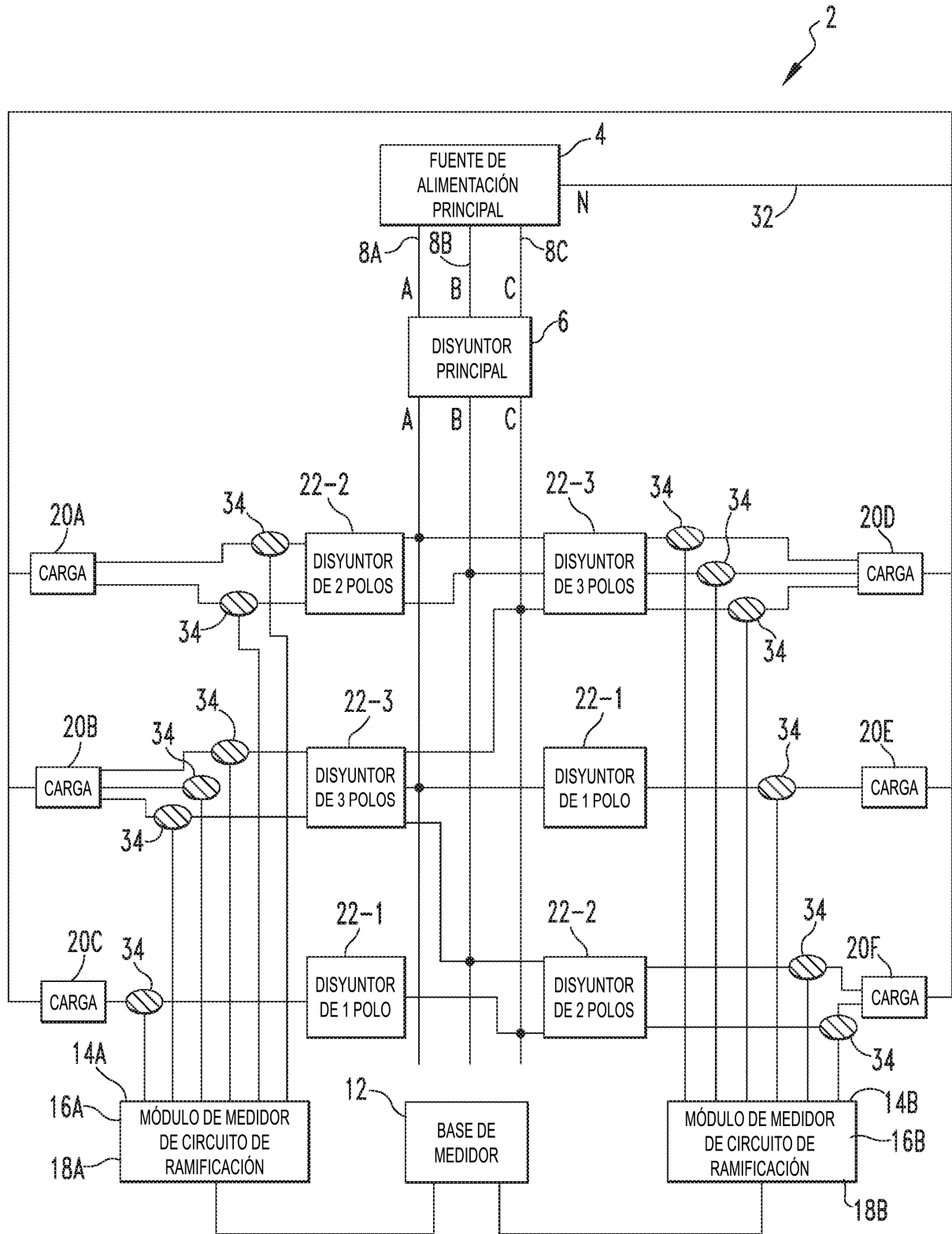
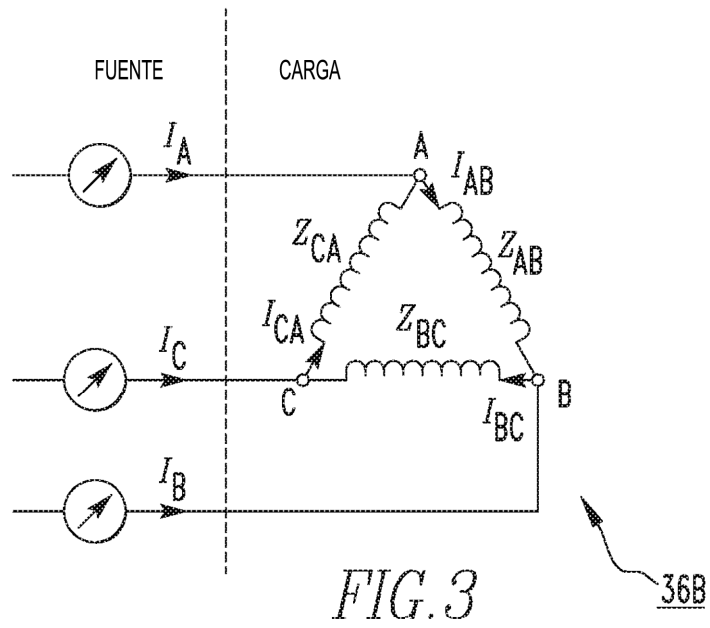
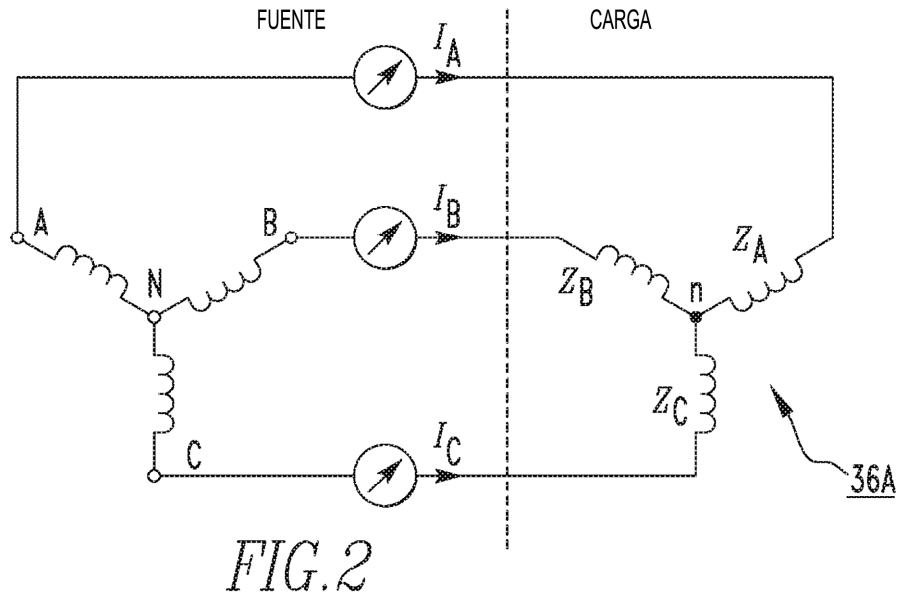


FIG.1B



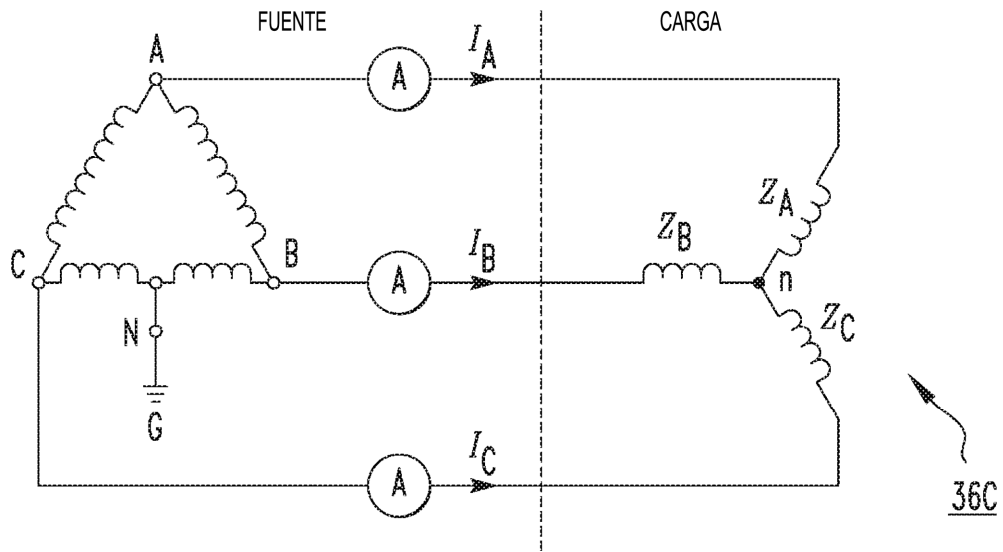


FIG. 4

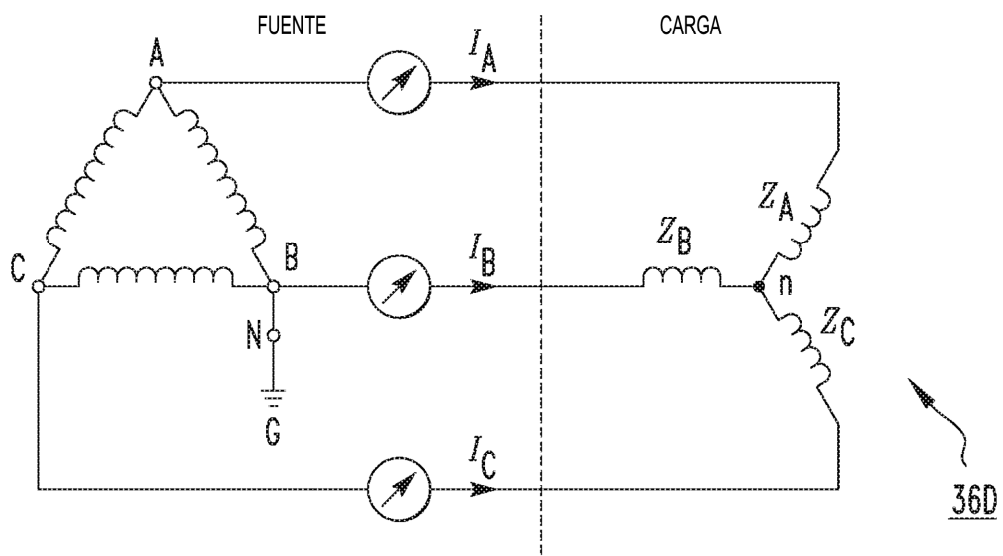


FIG. 5

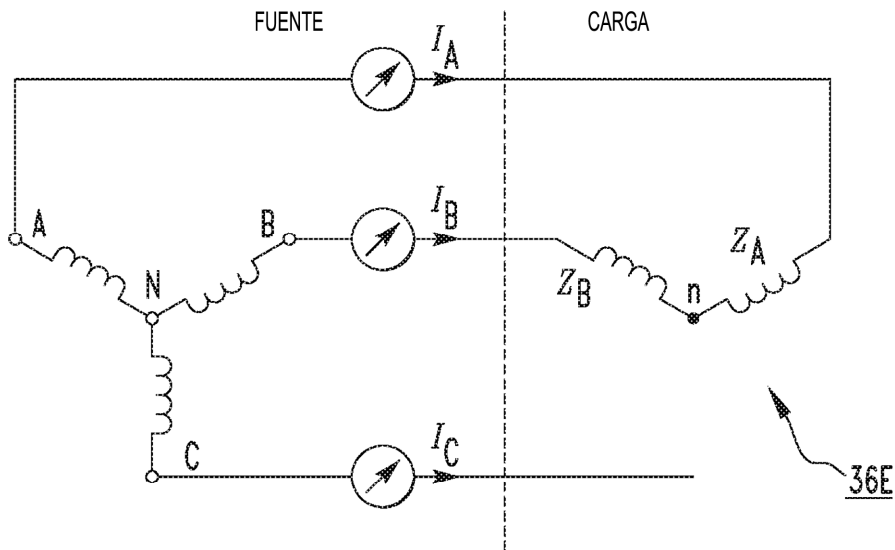


FIG. 6

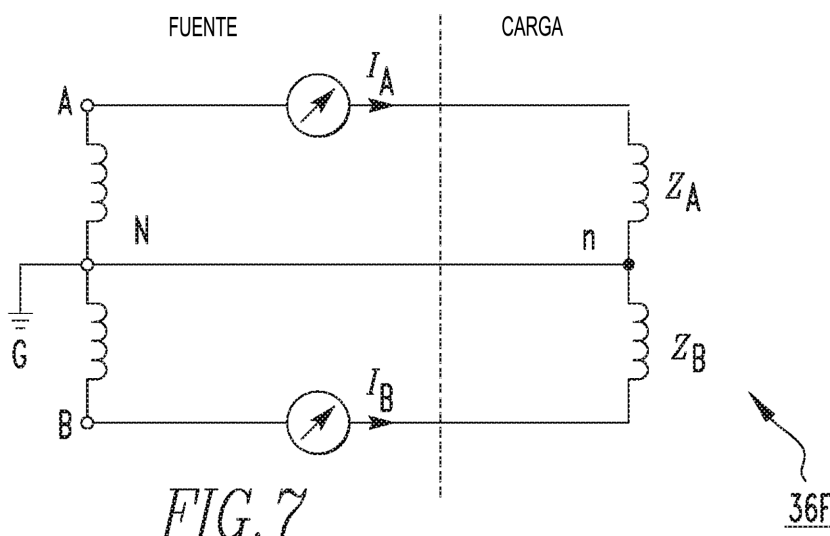


FIG. 7

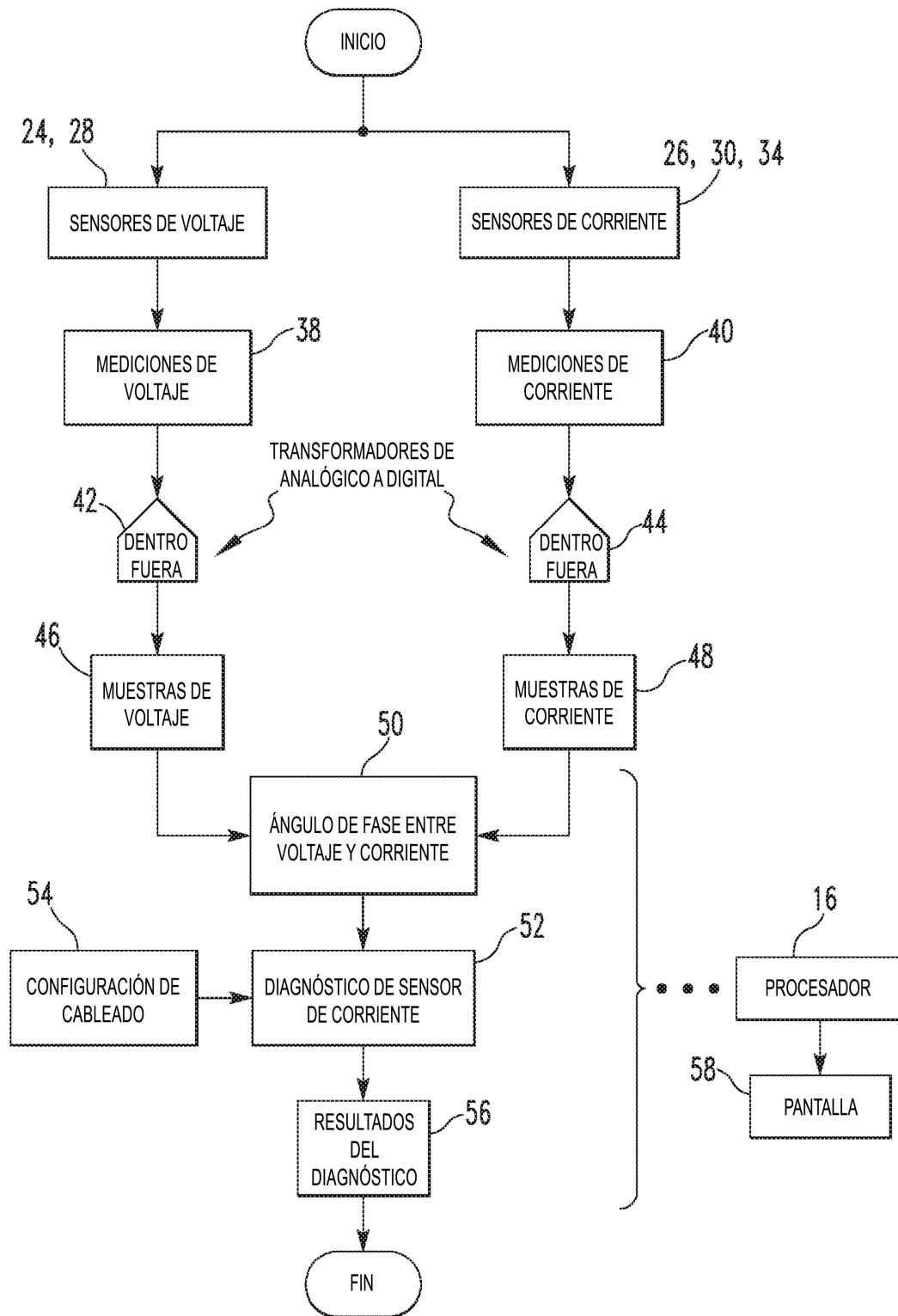


FIG.8

