

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 676 067**

51 Int. Cl.:

G01R 31/02 (2006.01)

G01R 31/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.08.2015 E 15179858 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018 EP 3128335**

54 Título: **Un procedimiento para detectar fallos a tierra en una línea eléctrica LVDC y un dispositivo electrónico para el mismo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.07.2018

73 Titular/es:
**ABB S.P.A. (100.0%)
Via Vittor Pisani 16
20124 Milano, IT**

72 Inventor/es:
**RAGAINI, ENRICO y
CARMINATI, MARCO**

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 2 676 067 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

Un procedimiento para detectar fallos a tierra en una línea eléctrica LVDC y un dispositivo electrónico para el mismo

5 La presente invención se refiere al campo de las redes de distribución de energía eléctrica LVDC (de baja tensión y corriente continua). Más particularmente, la presente invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo electrónico para detectar fallos a tierra en una red de distribución de energía eléctrica LVDC.

En aras de la claridad, se especifica lo siguiente:

- la expresión "baja tensión" (Low Voltage, LV) se refiere a tensiones menores de 1 kV CA y 1,5 kV CC;
- la expresión "media tensión" (Medium Voltage, MV) se refiere a tensiones mayores de 1 kV CA y 1,5 kV CC hasta algunas decenas de kV, por ejemplo, hasta 72 kV CA y 100 kV CC;
- 10 – las expresiones "red de distribución de energía eléctrica LVDC" y "línea eléctrica LVDC" identifican respectivamente una red de distribución de energía eléctrica LV y una línea eléctrica LV, en las que fluyen corrientes de CC.

Como se conoce, el escenario de distribución de electricidad ha cambiado en los últimos años.

15 La buena calidad de la energía y la eficiencia de la distribución de electricidad han pasado a ser factores muy importantes en la gestión de la distribución de electricidad, ya que ahora los clientes dependen básicamente de un suministro de energía ininterrumpido y el precio de la energía aumenta continuamente.

20 Además, la amplia difusión de los sistemas DG (Distributed Generation, generación distribuida) (por ejemplo, sistemas de paneles solares, sistemas de generación eólica y similares) y los sistemas de almacenamiento de energía (por ejemplo, baterías, supercondensadores y similares) en las redes de distribución de energía eléctrica ha planteado nuevos problemas de gestión de red a los que hacer frente.

De esta manera, las redes de distribución de energía eléctrica (LVDC) se han vuelto cada vez más interesantes para la distribución de electricidad, ya que tienen considerables ventajas con respecto a las redes de distribución de energía eléctrica tradicionales.

25 Las redes de distribución de energía eléctrica LVDC se caracterizan generalmente por una mayor eficiencia y una mayor capacidad de transmisión de electricidad, ya que las pérdidas de resistencia son normalmente más bajas y toda la potencia transmitida es sustancialmente activa.

Además, típicamente garantizan una mayor calidad de energía para los clientes, ya que normalmente es más fácil proporcionar compensación a las caídas de tensión y a las interrupciones breves de la red de distribución de energía eléctrica MV.

30 Además, permiten una conexión fácil (usando un número relativamente pequeño de etapas de conversión y sin necesidad de sincronización de fase) con los sistemas DG y los sistemas de almacenamiento de energía.

En las redes de distribución de energía eléctrica LVDC, la protección contra fallos a tierra es proporcionada mediante dispositivos de conmutación (por ejemplo, disyuntores) que incorporan o que están asociados operativamente con dispositivos de protección adecuados.

35 Dichos dispositivos de protección están configurados típicamente para detectar la presencia de una corriente I_0 de desequilibrio entre los conductores de una línea eléctrica asociada a los mismos, ya que esto puede ser indicativo de la ocurrencia de condiciones de fallo.

40 La experiencia ha demostrado que es posible que los dispositivos de protección disponibles en la actualidad no garanticen una gestión óptima de una red de distribución de energía eléctrica LVDC. El documento, DONG ET AL: "Low-frequency leakage current reduction using active control of single-phase PWM rectifier", ENERGY CONVERSION CONGRESS AND EXPOSITION (ECCE), 2011 IEEE, IEEE, 17 de Septiembre de 2011, describe la detección de corriente de fuga en una red de distribución de energía eléctrica LVDC.

En las Figuras 1A, 1B, 1C se muestra el funcionamiento de una línea 1002 eléctrica genérica de una red 1000 de distribución de energía eléctrica LVDC.

45 Tal como se conoce, una red 1000 de distribución de energía eléctrica LVDC es alimentada típicamente por una etapa 1001 de alimentación, que incluye un transformador de potencia y un convertidor de CA/CC y que está acoplada eléctricamente con una red 1005 de alimentación de CA.

Durante el funcionamiento normal, el convertidor de CA/CC de la etapa 1001 de alimentación puede generar corrientes I_{LK} de fuga. Típicamente, dichas corrientes I_{LK} de fuga fluyen hacia tierra a través de una trayectoria eléctrica formada por la conexión a tierra del transformador de potencia, el convertidor CA/CC, los conductores de la línea 1002 eléctrica, que alimenta una carga 1003 eléctrica y las capacidades C_P de acoplamiento a tierra (Figura 1B).

- 5 Las corrientes I_{LK} de fuga tienen una frecuencia relativamente alta, que corresponde básicamente a la frecuencia de conmutación del convertidor (por ejemplo, 10 KHz) y frecuencias múltiplos de la misma.

Cuando ocurre un fallo a tierra en la línea 1002 eléctrica, una corriente I_F de fallo de CC fluye hacia tierra a través de una trayectoria eléctrica formada por la conexión a tierra del convertidor 1001, el propio convertidor 1001, los conductores de la línea 1002 eléctrica y la resistencia R_G de fallo a tierra (Figura 1C).

- 10 En vista de lo anterior, es evidente que la corriente I_F de fallo de CC y las corrientes I_{LK} de fuga siguen trayectorias eléctricas comunes hacia las tierras, que incluyen los conductores de la línea 1002 eléctrica.

Por lo tanto, cuando se detecta una corriente I_G de desequilibrio (corriente hacia tierra) entre los conductores de la línea 1002 eléctrica, dicha corriente puede ser debida sólo a las corrientes I_{LK} de fuga o puede ser debida también a la presencia de una corriente I_F de CC indicativa de un evento de fallo a tierra.

- 15 Un ejemplo del comportamiento de una corriente I_G de desequilibrio detectada entre los conductores de la línea eléctrica se muestra en la Figura 1A. En este caso, es posible observar la superposición de una corriente I_F de CC (debida a un evento de fallo a tierra) y las componentes I_{LK} de alta frecuencia (debidas a las corrientes de fuga hacia tierra).

Desafortunadamente, los dispositivos de protección adoptados comúnmente en las redes de distribución de energía eléctrica LVDC están configurados para comprobar simplemente si una corriente I_G de desequilibrio detectada en una línea eléctrica supera un valor umbral determinado.

20

Tal como puede entenderse fácilmente, estas pobres capacidades de discriminación pueden conducir a intervenciones de protección incorrectas, particularmente cuando hay presentes corrientes I_{LK} de fuga relativamente altas hacia tierra.

De esta manera, la línea 1002 eléctrica puede ser interrumpida incluso cuando hay presentes condiciones anómalas menos peligrosas (diferentes de las condiciones de fallo).

- 25 Por supuesto, este hecho puede tener un impacto negativo sobre la gestión operativa de la red de distribución de energía eléctrica LVDC.

El objetivo principal de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un dispositivo electrónico para detectar fallos a tierra en una línea eléctrica LVDC, que permitan superar las limitaciones de las soluciones actuales del estado de la técnica.

- 30 Dentro de este objetivo, un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un dispositivo electrónico que permitan detectar una diferencia de corriente en una línea eléctrica LVDC y discriminar de manera eficaz si dicha diferencia de corriente es debida a condiciones de fallo que ocurren realmente o a otras condiciones anómalas menos peligrosas.

Todavía otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un dispositivo electrónico que sean relativamente fáciles y baratos de implementar a nivel industrial.

35

De esta manera, la presente invención proporciona un procedimiento para detectar una diferencia de corriente en una línea eléctrica LVDC, según la reivindicación 1 siguiente y las reivindicaciones dependientes relacionadas.

En un aspecto adicional, la presente invención proporciona un dispositivo electrónico para detectar una diferencia de corriente en una línea eléctrica LVDC, según la reivindicación 4 siguiente y las reivindicaciones dependientes relacionadas.

40

Un aspecto adicional de la invención se refiere a una disposición electrónica para redes de distribución de energía eléctrica LVDC, según la reivindicación 12 siguiente. Dicha disposición electrónica puede ser, por ejemplo, un dispositivo de protección, un relé o similar.

Todavía un aspecto adicional de la invención se refiere a un dispositivo de conmutación para redes de distribución de energía eléctrica LVDC según la reivindicación 13 siguiente. Dicho dispositivo de conmutación puede ser, por ejemplo, un disyuntor o un dispositivo similar (por ejemplo, un seccionador o desconectador, un reconectador o similar), siempre que tenga una capacidad de corte adecuada.

45

Las características y las ventajas de la invención emergerán de la descripción de las realizaciones preferidas, pero no

exclusivas, del procedimiento y del dispositivo electrónico, según la invención, cuyos ejemplos no limitativos se proporcionan en los dibujos adjuntos, en los que:

- Las Figuras 1A, 1B, 1C muestra esquemáticamente el funcionamiento de una red de distribución de energía eléctrica LVDC genérica en condiciones normales y cuando hay presente un evento de fallo;
- 5 – La Figura 2 muestra esquemáticamente una red de distribución de energía eléctrica LVDC que incluye el dispositivo electrónico, según la invención;
- La Figura 3 muestra esquemáticamente el procedimiento, según la invención;
- La Figura 4 muestra esquemáticamente el dispositivo electrónico, según la invención;
- 10 – Las Figuras 5-6 muestran esquemáticamente algunas partes del dispositivo electrónico de la invención, según diferentes realizaciones de la misma.

Con referencia a las figuras citadas, la presente invención se refiere a un procedimiento 100 y a un dispositivo 1 electrónico para la detección de fallos a tierra en una línea 500 eléctrica LVDC de una red 400 de distribución de energía eléctrica LVDC.

15 La red 400 de distribución de energía eléctrica LVDC puede ser de tipo conocido y puede estar configurada según las necesidades. Como ejemplo, puede ser de tipo unipolar y puede incluir un sistema de puesta a tierra del tipo TT.

En la Figura 2, la red 400 de distribución de energía eléctrica LVDC está configurada como una red que comprende una línea 401 de distribución de energía principal, a la que pueden estar conectadas eléctricamente cargas 600, sistemas 700 DG o sistemas 800 de almacenamiento de energía por medio de líneas eléctricas adecuadas.

20 La red 400 de distribución de energía eléctrica LVDC comprende una etapa 300 de conversión de CA/CC “front-end”, que está acoplada eléctricamente a la línea 401 de distribución de energía principal para alimentar esta última y las otras líneas eléctricas conectadas eléctricamente a la misma.

La etapa 300 de conversión CA/CC puede ser de tipo conocido.

La etapa 300 de conversión de CA/CC comprende una sección de conmutación que incluye dispositivos de conmutación que tienen una frecuencia f_{sw} de conmutación determinada.

25 De manera ventajosa, la etapa 300 de conversión “front-end” está acoplada eléctricamente a una red 200 de distribución de energía eléctrica de CA.

La red 200 de distribución de energía eléctrica de CA puede ser de tipo conocido y puede estar configurada según las necesidades.

30 La red 200 de distribución de energía eléctrica de CA puede comprender una sección 201 de MV, que está conectada eléctricamente entre una utilidad 204 de generación de energía MV y una etapa 203 de transformador MV/LV, y una sección 202 de LV, que está conectada eléctricamente entre etapa 203 de transformador de MV/LV y la etapa 300 de conversión CA/CC.

Preferiblemente, la etapa 203 de transformador MV/LV está conectada a tierra por razones de seguridad, por ejemplo, para prevenir sobretensiones.

35 La línea 500 eléctrica LVDC puede ser de tipo conocido y puede estar configurada según las necesidades. Por ejemplo, puede ser de tipo unipolar o bipolar.

La línea 500 eléctrica LVDC comprende una pluralidad de conductores que forman los cables de línea.

La línea 500 eléctrica LVDC puede estar conectada eléctricamente a una carga 600 eléctrica.

40 Como ejemplo, en la Figura 1, la línea 500 eléctrica LVDC se muestra como conectando eléctricamente una carga 600 eléctrica (que tiene una conexión a tierra) con la línea 401 de distribución de energía principal de la red 400 de distribución de energía eléctrica LVDC.

En principio, sin embargo, la línea 500 eléctrica LVDC puede estar configurada de manera diferente.

Por ejemplo, puede ser una línea eléctrica que proporciona una conexión eléctrica con una unidad de generación de energía (por ejemplo, una unidad DG o una unidad de almacenamiento de energía).

La red 400 de distribución de energía eléctrica LVDC puede comprender uno o más dispositivos 150 de conmutación, por ejemplo, para propósitos de protección contra fallos a tierra.

Tal como se ha indicado anteriormente, según uno de sus aspectos, la presente invención se refiere a un procedimiento 100 para la detección de fallos en una línea 500 eléctrica LVDC de la red 400 de distribución de energía eléctrica LVDC (Figura 3).

El procedimiento 100 comprende una etapa 101 de adquisición de una primera señal V_{LOW} de detección, que es indicativa de componentes de baja frecuencia de una corriente I_G de desequilibrio detectada entre una pluralidad de conductores de la línea 500 eléctrica, y una etapa 102 de adquisición de una segunda señal V_{HIGH} de detección indicativa de componentes de alta frecuencia de la corriente I_G de desequilibrio detectada. En aras de la claridad, se especifica que, en adelante, las expresiones "componentes de baja frecuencia" y "componentes de alta frecuencia" de la corriente I_G de desequilibrio identifican respectivamente los componentes de la corriente I_G de desequilibrio, que tienen una frecuencia respectivamente más baja y más alta que una frecuencia f_E de referencia, que se establece dependiendo de la configuración de la etapa 300 de conversión CA/CC y de la configuración de los medios 2 de detección adoptados para detectar la corriente I_G de desequilibrio.

Preferiblemente, dicha frecuencia f_E de referencia está comprendida en un intervalo de frecuencia entre 0 (CC) y f_{SW} , donde f_{SW} es la frecuencia de conmutación de la etapa 300 de conversión CA/CC.

Preferiblemente, la frecuencia f_E es mucho más baja (por ejemplo, al menos un 50% inferior) que la frecuencia f_{SW} de conmutación. Como ejemplo, si la frecuencia f_{SW} de conmutación se establece en 10 KHz, la frecuencia f_E tiene preferiblemente valores entre 1 KHz y 5 KHz.

Las señales V_{LOW} , V_{HIGH} de detección, primera y segunda, son obtenidas respectivamente mediante un filtrado de pasa baja y un filtrado de pasa alta de una o más señales V_{M1} , V_{M2} de medición correspondientes, indicativas de la corriente I_G de desequilibrio.

Preferiblemente, las señales V_{LOW} , V_{HIGH} de detección, primera y segunda, son obtenidas respectivamente por medio de un filtrado de pasa baja y un filtrado de pasa alta de las señales V_{M1} , V_{M2} de medición, primera y segunda, indicativas de la corriente I_G de desequilibrio.

Tal como se ilustrará a continuación, en la implementación práctica del procedimiento 100, la corriente I_G de desequilibrio puede ser detectada mediante medios 2 de detección configurados adecuadamente acoplados operativamente con los conductores de la línea 500 eléctrica y configurados para proporcionar la una o más señales V_{M1} , V_{M2} de medición indicativas de la corriente I_G de desequilibrio.

Preferiblemente, las señales V_{M1} , V_{M2} de medición son señales de CA a la frecuencia f_E de referencia. Pueden incluir componentes de alta frecuencia y posiblemente una componente de CC.

Tal como se ilustrará a continuación, en la implementación práctica del procedimiento 100, las señales V_{LOW} , V_{HIGH} de detección pueden ser proporcionadas mediante medios 3 de filtrado configurados adecuadamente asociados operativamente con los medios 2 de detección para recibir las señales V_{M1} , V_{M2} de medición indicadas anteriormente.

Preferiblemente, las señales V_{LOW} , V_{HIGH} de detección son señales de tensión.

El procedimiento 100 comprende una etapa 103 de cálculo de una tercera señal RT de detección mediante el cálculo de la relación entre dichas señales V_{LOW} , V_{HIGH} de detección, primera y segunda.

Al ser igual a la relación entre la señal V_{LOW} de detección y la señal V_{HIGH} de detección, la señal RT de detección proporciona información acerca de si la corriente I_G de desequilibrio detectada es debida también a la contribución de una corriente I_F de fallo de CC hacia tierra o es debida sólo a corrientes I_{LK} de fuga de alta frecuencia que circulan hacia tierra.

En la práctica, la señal RT de detección proporciona información que permite excluir la presencia de una corriente I_F de fallo de CC, indicativa de un evento de fallo a tierra.

De esta manera, el procedimiento 100 comprende una etapa 104 que comprueba si hay presente o no una corriente I_F de fallo de CC comparando la tercera señal RT de detección con un primer valor TH1 umbral.

Preferiblemente, el primer valor TH1 umbral se establece a cero (TH1 = 0).

Sin embargo, el primer valor TH1 umbral puede establecerse a un valor próximo a cero, por ejemplo, un valor mucho más pequeño (es decir, al menos un orden de magnitud menor) con respecto a los valores de amplitud típicos de las posibles corrientes I_F de fallo de CC hacia tierra en una red LVDC.

Una señal RT de detección que tiene una amplitud nula o despreciable ($RT \leq TH1$) indica que no hay presente una corriente I_F de fallo y que la corriente I_G de desequilibrio es debida básicamente a corrientes I_{LK} de fuga de alta frecuencia que fluyen hacia tierra.

5 Por otra parte, una señal RT de detección que tiene una amplitud no despreciable ($RT > TH1$) indica que existe una corriente I_F de fallo, incluso si esta última puede estar solapada con corrientes I_{LK} de fuga de alta frecuencia.

Es evidente que el procedimiento 100 proporciona la información necesaria para garantizar una buena gestión del funcionamiento de la línea 500 eléctrica y, más generalmente, de la red 400 de distribución de energía eléctrica LVDC.

10 De hecho, el procedimiento 100 proporciona criterios de discriminación efectivos para comprobar si la corriente I_G de desequilibrio detectada entre los conductores de la línea 500 eléctrica es debida a un evento de fallo real (corriente I_F de fallo de CC) o simplemente a la presencia de corrientes I_{LK} de fuga generadas por la etapa 300 de conversión.

Dichos criterios de discriminación, que se implementan básicamente mediante las etapas 103-104 de procesamiento, permiten excluir si hay presente o no una corriente I_F de fallo hacia tierra.

Por lo tanto, el procedimiento 100 permite abordar correctamente las posibles intervenciones de protección en la línea 500 eléctrica, evitando de esta manera interrupciones incorrectas o indeseadas en la misma.

15 Si la presencia de una corriente I_F de fallo de CC es excluida ejecutando la etapa 103 ilustrada anteriormente, el procedimiento 100 permite el procesamiento de la segunda señal V_{HIGH} de detección para comprobar si la presencia de las corrientes I_{LK} de fuga puede considerarse como un fenómeno insignificante o requiere una intervención de mantenimiento (por ejemplo, en la etapa 300 de conversión).

20 Preferiblemente, el procedimiento 100 comprende una etapa 105 de comparación de la segunda señal V_{HIGH} de detección con un segundo valor TH2 umbral, si la tercera señal RT de detección no supera el primer valor TH1 umbral.

Preferiblemente, el segundo valor TH2 umbral se establece según los requisitos de seguridad para el funcionamiento de la línea 500 eléctrica.

25 Preferiblemente, el procedimiento 100 comprende una etapa 106 de generación de una señal WARN de alarma indicativa de la presencia de la corriente I_{LK} de fuga hacia tierra, si la segunda señal V_{HIGH} de detección excede el segundo valor TH2 umbral. En este caso, se señalan condiciones de funcionamiento anómalas (que posiblemente requieran una intervención de mantenimiento).

De manera ventajosa, la señal WARN de alarma puede ser enviada a un relé o a un control hasta que se proporcionen medios de señalización adecuados.

30 Preferiblemente, el procedimiento 100 se termina si la segunda señal V_{HIGH} de detección no excede el segundo valor TH2 umbral. En este caso, la presencia de las corrientes I_{LK} de fuga no se considera una condición de funcionamiento anómala.

Si la presencia de una corriente I_F de fallo de CC es determinada ejecutando la etapa 103 ilustrada anteriormente, el procedimiento 100 permite el procesamiento de las señales V_{LOW} , V_{HIGH} de detección para comprobar si se necesita o no una interrupción de la línea eléctrica por razones de seguridad.

35 Preferiblemente, el procedimiento 100 comprende una etapa 107 de obtención de una cuarta señal V_{SUM} de detección mediante el cálculo de la suma de las señales V_{LOW} , V_{HIGH} de detección, primera y segunda, si la tercera señal RT de detección excede el primer valor TH1 umbral.

40 De manera ventajosa, la cuarta señal V_{SUM} de detección es indicativa de la magnitud global de las corrientes que fluyen hacia tierra en la línea 500 eléctrica. De esta manera, proporciona la información necesaria para determinar si se necesita o no una intervención de protección.

Preferiblemente, el procedimiento 100 comprende una etapa 108 de comparación de la cuarta señal V_{SUM} de detección con un tercer valor TH3 umbral.

Preferiblemente, el tercer valor TH3 umbral se establece según los requisitos de seguridad para el funcionamiento de la línea 500 eléctrica.

45 El tercer valor TH3 umbral puede establecerse igual al segundo valor TH2 umbral ($TH1 = TH2$).

Preferiblemente, el procedimiento 100 comprende una etapa 109 de generación de una señal TRIP de desconexión para ordenar la interrupción de la línea 500 eléctrica, si la cuarta señal V_{SUM} de detección excede el tercer valor TH3 umbral.

De manera ventajosa, la señal TRIP de disparo puede ser enviada a un relé o un control de un dispositivo 150 de conmutación, que a su vez permite la interrupción de la línea 500 eléctrica.

La ejecución de las etapas 107-109 descritas anteriormente proporciona ventajas relevantes desde el punto de vista de la seguridad.

- 5 Se ordena una posible intervención de protección en base de la amplitud máxima de la cuarta señal V_{SUM} de detección, que es indicativa de la magnitud global de las corrientes que fluyen hacia tierra.
- Esto garantiza rendimientos mejorados en términos de seguridad del usuario con respecto a los dispositivos de protección tradicionales, en los que se comprueba la amplitud de la única corriente I_F de fallo de CC para ordenar una intervención de protección.
- 10 Tal como se ilustrará a continuación, en su implementación práctica, el procedimiento 100 puede ser ejecutado mediante medios 4 de procesamiento configurados adecuadamente, que pueden ser de tipo analógico y/o digital.
- De esta manera, las señales V_{LOW} , V_{HIGH} , RT, V_{HIGH} , WARN, TRIP procesadas o proporcionadas en el procedimiento 100 pueden ser señales analógicas o señales digitales, dependiendo de la implementación práctica del propio procedimiento.
- 15 Tal como se ha indicado anteriormente, según uno de sus aspectos, la presente invención se refiere a un dispositivo 1 electrónico para la detección de fallos a tierra en una línea 500 eléctrica LVDC de una red 400 de distribución de energía eléctrica LVDC (Figura 4).
- El dispositivo 1 electrónico comprende medios 2 de detección acoplados operativamente con los conductores de la línea 500 eléctrica.
- 20 Los medios 2 de detección están adaptados para proporcionar una o más señales V_{M1} , V_{M2} de medición, indicativas de una corriente I_G de desequilibrio entre los conductores de la línea 500 eléctrica.
- Preferiblemente, la una o más señales V_{M1} , V_{M2} de medición son señales de CA a la frecuencia f_E de referencia, indicada anteriormente. Las señales V_{M1} , V_{M2} de medición pueden tener un contenido de armónicos indicativo de componentes de alta frecuencia y de baja frecuencia de una corriente I_G de desequilibrio.
- Preferiblemente, la una o más señales V_{M1} , V_{M2} de medición son señales de tensión.
- 25 El dispositivo 1 electrónico comprende medios 3 de filtrado configurados para procesar la una o más señales V_{M1} , V_{M2} de medición y proporciona una primera señal V_{LOW} de detección indicativa de las componentes de baja frecuencia de la corriente I_G de desequilibrio y una segunda señal V_{HIGH} de detección indicativa de las componentes de alta frecuencia de la corriente I_G de desequilibrio.
- 30 Tal como ya se ha indicado anteriormente, los términos "componentes de baja frecuencia" y "componentes de alta frecuencia" de la corriente I_G de desequilibrio deberían estar destinados a identificar los componentes de la corriente I_G de desequilibrio, que tienen una frecuencia respectivamente menor y mayor que la frecuencia f_E de referencia.
- Los medios 3 de filtrado pueden ser de tipo analógico o digital.
- Si se implementan de manera analógica, los medios 3 de filtrado comprenden circuitos electrónicos dispuestos adecuadamente para proporcionar el filtrado de las una o más señales V_{M1} , V_{M2} de medición.
- 35 Si se implementan de manera digital, los medios 3 de filtrado comprenden uno o más recursos informatizados (por ejemplo, microprocesadores) configurados para ejecutar instrucciones de software (almacenables en un medio) con el fin de llevar a cabo el filtrado de las señales V_{M1} , V_{M2} de medición.
- El dispositivo 1 electrónico comprende medios 4 de procesamiento configurados para procesar las señales V_{LOW} , V_{HIGH} de detección, primera y segunda.
- 40 Los medios de procesamiento están configurados para ejecutar el procedimiento 100 descrito anteriormente y en la Figura 3.
- Tal como ya se ha indicado anteriormente, los medios 4 de procesamiento pueden ser de tipo analógico o digital.
- Si se implementan de manera analógica, los medios 4 de procesamiento comprenden circuitos electrónicos dispuestos adecuadamente para llevar a cabo las etapas de procesamiento de señal proporcionadas por el procedimiento 100.
- 45 Si se implementan de manera digital, los medios 4 de procesamiento comprenden una o más unidades informatizadas (por ejemplo, microprocesadores) configuradas para ejecutar instrucciones de software (almacenables en un medio) para

llevar a cabo las etapas de procesamiento de señales proporcionadas por el procedimiento 100.

De manera ventajosa, los medios 3 de filtrado y los medios 4 de procesamiento pueden estar integrados en una o más unidades de procesamiento, que pueden ser de tipo analógico o digital.

5 El dispositivo 1 electrónico puede comprender recursos de procesamiento autónomos (por ejemplo, pueden estar provistos de un microcontrolador propio) para implementar los medios 4 de procesamiento o puede compartir recursos de procesamiento que están presentes en el dispositivo, el dispositivo o el sistema, en el que está posiblemente incluido o integrado.

10 Según algunas realizaciones de la invención (mostradas en las Figuras 4-6), los medios 2 de detección están adaptados para proporcionar señales V_{M1} , V_{M2} de medición, primera y segunda, distintas, indicativas de la corriente I_G de desequilibrio.

15 En este caso, los medios 3 de filtrado están configurados de manera ventajosa para procesar las señales V_{M1} , V_{M2} de medición, primera y segunda, y proporcionan las señales V_{LOW} , V_{HIGH} de detección. Preferiblemente, los medios 3 de filtración comprenden primeros medios 31 de filtrado de pasa baja configurados para procesar la primera señal V_{M1} de medición y proporcionar las primeras señales V_{LOW} de detección. Preferiblemente, los medios 3 de filtrado comprenden segundos medios 32 de filtrado de pasa alta configurados para procesar la segunda señal V_{M2} de medición y proporcionar las segundas señales V_{HIGH} de detección. Según otras realizaciones de la invención (no mostradas), los medios 2 de detección pueden estar adaptados para proporcionar una única señal de medición indicativa de la corriente I_G de desequilibrio.

20 En este caso, los medios 3 de filtrado están configurados de manera ventajosa para procesar dicha señal de medición y proporcionar las señales V_{LOW} , V_{HIGH} de detección.

Preferiblemente, los medios 2 de detección comprenden al menos un núcleo 21 magnético configurado para formar una trayectoria de flujo magnético encadenada con los conductores de la línea 500 eléctrica.

De manera ventajosa, el núcleo 21 magnético tiene una alta permeabilidad magnética y puede estar realizado, por ejemplo, en una aleación de Ni-Fe.

25 Preferiblemente, el núcleo 21 magnético está conformado como un toroide.

De manera ventajosa, el núcleo 21 magnético está dispuesto para detectar corrientes I_G de desequilibrio entre los conductores de la línea 500 eléctrica.

30 Con el fin de incrementar la sensibilidad global a las posibles corrientes I_G de desequilibrio en la línea 500 eléctrica, los conductores de la línea 500 eléctrica pueden estar enrollados alrededor del núcleo 21 magnético para formar múltiples devanados.

Preferiblemente, los medios 2 de detección comprenden una sección 220 de circuito de excitación acoplada operativamente con el núcleo 21 magnético.

35 La sección 220 de circuito de excitación comprende uno o más devanados 22, 22A, 22B de excitación enrollados alrededor del núcleo 21 magnético y al menos una fuente 23 de alimentación conectada eléctricamente a dichos devanados de excitación.

La fuente 23 de alimentación proporciona una corriente I_E de excitación, que circula a lo largo de los devanados 22, 22A, 22B de excitación.

La corriente I_E de excitación es una corriente de CA que tiene una frecuencia f_E , que constituye la frecuencia de referencia para discriminar entre las componentes de baja frecuencia y de alta frecuencia de la corriente I_G de desequilibrio.

40 Tal como se ha descrito anteriormente, la frecuencia f_E está comprendida en el intervalo $0 < f_E < f_{SW}$, donde f_{SW} es la frecuencia de conmutación de una etapa 300 de conversión que alimenta la línea 500 eléctrica.

De esta manera, la frecuencia f_E se establece, de manera ventajosa, dependiendo de la frecuencia f_{SW} de conmutación de la etapa 300 de conversión, que alimenta la línea 500 eléctrica.

45 De manera ventajosa, la fuente 23 de alimentación puede ser del tipo conocido, por ejemplo, un circuito oscilador electrónico.

Preferiblemente, los medios 2 de detección comprenden una sección 240 de circuito de salida, que está asociada operativamente con la sección 220 de circuito de excitación para proporcionar las señales V_{M1} , V_{M2} de medición,

indicativas de las corrientes I_G de desequilibrio.

Según algunas realizaciones de la invención, la sección 240 de circuito de salida comprende uno o más devanados 24A, 24B de detección enrollados alrededor del núcleo 21 magnético.

5 La sección 240 de circuito de salida comprende además una o más derivaciones R_{S1} , R_{S2} resistivas, cada una de las cuales está conectada eléctricamente a un devanado 24A, 24B de detección correspondiente.

Cada elemento R_{S1} , R_{S2} de detección está adaptado para detectar una corriente I_{O1} , I_{O2} de detección correspondiente que fluye a lo largo del devanado 24A, 24B de detección correspondiente y proporcionar una señal V_{M1} , V_{M2} de medición correspondiente indicativa de las corrientes I_G de desequilibrio.

10 Según una realización de la invención (mostrada en la Figura 5), los medios 2 de detección comprenden el núcleo 21 magnético y una sección 220 de circuito de excitación, que comprende un único devanado 22 de excitación enrollado alrededor del núcleo 21 magnético y la fuente 23 de alimentación, que está conectado eléctricamente al devanado 22 de excitación para proporcionar una corriente I_E de excitación que fluye a lo largo de este último.

15 Según dicha realización, los medios 2 de detección comprenden una sección 240 de circuito de salida, que comprende un primer devanado 24A de detección enrollado alrededor del núcleo 21 magnético y un primer elemento R_{S1} de detección conectado eléctricamente al primer devanado 24A de detección y que comprende un segundo devanado 24B de detección enrollado alrededor del núcleo 21 magnético y un segundo elemento R_{S2} de detección conectado eléctricamente al segundo devanado 24B de detección.

Preferiblemente, los elementos R_{S1} , R_{S2} de detección, primero y segundo, comprenden resistencias en derivación, cada una de las cuales está conectada eléctricamente en serie con el devanado 24A, 24B de detección correspondiente.

20 La fuente 23 de alimentación proporciona la corriente I_E de excitación, que polariza el núcleo 21 magnético en un punto de funcionamiento determinado, por ejemplo, en un punto de funcionamiento en el que la permeabilidad magnética muestra una fuerte transición hacia valores pequeños, concretamente en un punto de funcionamiento situado cerca de una región de saturación positiva o negativa del ciclo de histéresis del núcleo 21 magnético.

25 Como consecuencia de la circulación de la corriente I_E de excitación, las corrientes I_{O1} , I_{O2} de detección, primera y segunda (que tienen una amplitud proporcional a la corriente I_E de excitación y a las posibles corrientes I_{LK} de fuga y/o a la corriente I_F de CC) circulan respectivamente a lo largo de los devanados 24A, 24B de detección, primero y segundo (y preferiblemente a lo largo de los elementos R_{S1} , R_{S2} de detección, primero y segundo).

30 Dependiendo del diseño de los devanados 24A, 24B de detección y de los elementos R_{S1} , R_{S2} de detección, las corrientes I_{O1} , I_{O2} de detección pueden ser idénticas o diferentes, según las necesidades. El primer elemento R_{S1} de detección detecta una primera corriente I_{O1} de detección que fluye a lo largo del primer devanado 24A de detección y proporciona una primera señal V_{M1} de medición.

El segundo elemento R_{S2} de detección detecta una segunda corriente I_{O2} de detección que fluye a lo largo del segundo devanado 24B de detección y proporciona una segunda señal V_{M2} de medición.

35 Las señales V_{M1} , V_{M2} de medición de tensión, primera y segunda, son indicativas de una corriente I_G de desequilibrio entre los conductores de la línea 500 eléctrica.

Preferiblemente, señales V_{M1} , V_{M2} de medición de tensión, primera y segunda, son señales de tensión generadas por las resistencias R_{S1} , R_{S2} en derivación correspondientes cuando las corrientes I_{O1} , I_{O2} de detección correspondientes fluyen a lo largo de dichas resistencias en derivación. De esta manera, las señales V_{M1} , V_{M2} de medición pueden tomarse en los terminales de las resistencias R_{S1} , R_{S2} en derivación.

40 Tal como se ha indicado anteriormente, las señales V_{M1} , V_{M2} de medición son señales de CA a la frecuencia f_E y pueden tener un contenido armónico indicativo de posibles componentes de alta frecuencia y de baja frecuencia de la corriente I_G de desequilibrio.

45 Dependiendo del diseño de los devanados 24A, 24B de detección y de los elementos R_{S1} , R_{S2} de detección, las señales V_{M1} , V_{M2} de medición pueden ser idénticas o diferentes, según las necesidades. Según una posible variante (no mostrada) de la realización mostrada en la Figura 5, los medios 2 de detección comprenden una sección de circuito de salida, que comprende un único devanado de detección y un elemento de detección correspondiente conectado eléctricamente a dicho devanado de detección.

En este caso, los medios 2 de detección proporcionan una única señal de medición indicativa de la corriente I_G de desequilibrio, que es recibida por los medios 3 de filtrado que la procesan para proporcionar las señales V_{LOW} , V_{HIGH} de

detección, primera y segunda.

Según realizaciones adicionales de la invención, la sección 240 de circuito de salida comprende una o más derivaciones R_{S1} , R_{S2} resistivas, cada una de las cuales está conectada eléctricamente a un devanado 22A, 22B de excitación correspondiente.

5 Cada elemento R_{S1} , R_{S2} de detección está adaptado para detectar la corriente I_E de excitación que fluye a lo largo del devanado de excitación correspondiente y proporciona una señal V_{M1} , V_{M2} de medición correspondiente.

Según una realización de la invención (mostrada en la Figura 6), los medios 2 de detección comprenden el núcleo 21 magnético y una sección 220 de circuito de excitación, que comprende unos devanados 22A, 22B de excitación, primero y segundo, enrollados alrededor del núcleo 21 magnético y la fuente 23 de alimentación, que está conectada eléctricamente a los devanados 22A, 22B de excitación para proporcionar una corriente I_E de excitación que fluye a lo largo de estos últimos.

10

Según dicha realización, los medios 2 de detección comprenden una sección de circuito de salida, que comprende un primer elemento R_{S1} de detección conectado eléctricamente al primer devanado 22A de excitación y que comprende un segundo elemento R_{S2} de detección conectado eléctricamente al segundo devanado 22B de excitación.

15 Preferiblemente, los elementos R_{S1} , R_{S2} de detección, primero y segundo, comprenden resistencias en derivación, cada una de las cuales está conectada eléctricamente en serie con el devanado 24A, 24B de detección correspondiente. Dependiendo del diseño de los elementos R_{S1} , R_{S2} de detección, las corrientes I_E de excitación proporcionadas por la fuente 23 de tensión pueden ser idénticas o diferentes, según las necesidades.

La fuente 23 de alimentación proporciona las corrientes I_E de excitación, que polarizan el núcleo 21 magnético en un punto de funcionamiento determinado.

20

El primer elemento R_{S1} de detección detecta la corriente I_E de excitación correspondiente que fluye a lo largo del primer devanado 22A de excitación y proporciona una primera señal V_{M1} de medición.

El segundo elemento R_{S2} de detección detecta la corriente I_E de excitación correspondiente que fluye a lo largo del segundo devanado 24B de excitación y proporciona una segunda señal V_{M2} de medición.

25 Las señales V_{M1} , V_{M2} de medición de tensión, primera y segunda, son indicativas de una corriente I_G de desequilibrio entre los conductores de la línea 500 eléctrica.

Preferiblemente, las señales V_{M1} , V_{M2} de medición de tensión, primera y segunda, son señales de tensión generadas por las resistencias R_{S1} , R_{S2} en derivación correspondientes cuando las corrientes I_E de excitación correspondientes fluyen a lo largo de dichas resistencias en derivación. De esta manera, las señales V_{M1} , V_{M2} de medición pueden tomarse en los terminales de las resistencias R_{S1} , R_{S2} en derivación.

30

Tal como se ha indicado anteriormente, las señales V_{M1} , V_{M2} de medición son señales de CA a la frecuencia f_E y pueden tener un contenido armónico indicativo de las componentes de baja frecuencia y de alta frecuencia de la corriente I_G de desequilibrio.

Dependiendo del diseño de los devanados 24A, 24B de excitación y de los elementos R_{S1} , R_{S2} de detección, las señales V_{M1} , V_{M2} de medición pueden ser idénticas o diferentes, según las necesidades. Según una posible variante (no mostrada) de la realización mostrada en la Figura 6, los medios 2 de detección comprenden una sección de circuito de excitación, que comprende un único devanado de excitación, y una sección de circuito de salida, que comprende un elemento de detección correspondiente conectado eléctricamente a dicho devanado de excitación.

35

En este caso, los medios 2 de detección proporcionan una única señal de medición indicativa de la corriente I_G de desequilibrio, que es recibida por los medios 3 de filtrado que la procesan para proporcionar las señales V_{LOW} , V_{HIGH} de detección, primera y segunda.

40

Tal como entenderá ciertamente la persona con conocimientos en la materia, son posibles otras disposiciones para los medios 2 de detección.

Por ejemplo, los medios 2 de detección pueden comprender múltiples etapas de detección, cada una de las cuales está provista de un núcleo magnético correspondiente, una sección de circuito de excitación correspondiente y una sección de circuito de salida correspondiente (que puede ser dispuesta según una de las soluciones ilustradas anteriormente) para proporcionar una señal V_{M1} , V_{M2} de medición correspondiente, indicativa de una corriente I_G de desequilibrio entre los conductores de la línea 500 eléctrica.

45

Como un ejemplo adicional, los medios 2 de detección pueden comprender una sección de excitación que tiene múltiples

fuentes de alimentación, cada una de las cuales proporciona una corriente I_E de excitación a un devanado de excitación correspondiente.

El procedimiento 100 y el dispositivo 1 electrónico de la invención tienen una serie de ventajas.

5 El procedimiento de la invención permite discriminar, de manera efectiva, si una corriente de desequilibrio detectada en una línea 500 eléctrica es debida a la ocurrencia de condiciones de fallos o a otras condiciones anómalas menos peligrosas, tales como la presencia de corrientes de fuga a la frecuencia de conmutación de la etapa 300 de conversión CA/CC que alimenta la línea 500 eléctrica.

10 Esto proporciona considerables ventajas en la gestión del funcionamiento de las redes de distribución de energía eléctrica LVDC, ya que ayuda a evitar interrupciones no deseadas o incorrectas de la distribución de energía eléctrica y permite abordar y corregir las posibles intervenciones de mantenimiento. Por lo tanto, la información acerca de las componentes de baja frecuencia y de alta frecuencia de las posibles corrientes I_G de desequilibrio es aprovechada de manera conveniente para garantizar un mayor tiempo de servicio operativo de la línea 500 eléctrica o de los sistemas/aparatos eléctricos conectados a la misma.

15 Como ejemplo, un dispositivo 150 de conmutación dispuesto para desconectar la línea 500 eléctrica y que incorpora el dispositivo 1 electrónico puede ser capaz de permanecer en un estado cerrado durante un mayor tiempo, garantizando de esta manera un mayor tiempo de servicio operativo de la línea 500 eléctrica y de los sistemas/aparatos eléctricos conectados a la misma, sin poner en peligro la seguridad.

El dispositivo 1 electrónico puede ser incluido o integrado fácilmente en muchas aplicaciones LVDC diferentes.

20 Como ejemplo, el dispositivo 1 electrónico puede ser usado fácilmente en RCDs (Residual Current Devices, dispositivos de corriente residual), relés, dispositivos de control e IEDs (Intelligent Electronic Devices, dispositivos electrónicos inteligentes, dispositivos basados en microcontroladores electrónicos para gestionar el funcionamiento de los equipos de energía eléctrica) para redes de distribución de energía eléctrica LVDC.

Como un ejemplo adicional, el dispositivo 1 electrónico puede ser integrado en un dispositivo 150 de conmutación, tal como se muestra en la Figura 2.

25 En este caso, el dispositivo 1 electrónico puede estar configurado para enviar la señal WARN de alarma y/o la señal TRIP de disparo puede ser enviada a un relé o un control hasta que esté incluido o asociado operativamente con el dispositivo 150 de conmutación.

30 La información sobre las componentes de baja frecuencia y de alta frecuencia de las posibles corrientes I_G de desequilibrio puede ser aprovechada, de manera conveniente, para mejorar las funcionalidades de los dispositivos eléctricos dedicados a la red de distribución de energía eléctrica LVDC, tales como dispositivos de protección, dispositivos de conmutación, relés o similares.

35 Como ejemplo, un RCD que incorpora el dispositivo 1 electrónico puede proporcionar funcionalidades de diagnóstico mejoradas, que pueden ser aprovechadas adecuadamente para gestionar el funcionamiento de dicho dispositivo de protección o para implementar funcionalidades de gestión de red inteligente avanzadas. En este último caso, la información proporcionada por el dispositivo 1 electrónico puede ser fácilmente comunicada, directamente o a través de una red de comunicación adecuada, a cualquier dispositivo de la red de distribución de energía eléctrica LVDC en la que está instalado el RCD.

40 El dispositivo 1 electrónico también puede ser usado como dispositivo autónomo y puede ser puesto fácilmente en comunicación con dispositivos remotos. En este caso, el dispositivo 1 electrónico está provisto preferiblemente con recursos de procesamiento autónomos (por ejemplo, un microcontrolador).

De esta manera, el dispositivo 1 electrónico se caracteriza por una alta flexibilidad durante el uso, lo que lo hace adecuado para su uso en cualquier tipo de red LVDC.

El dispositivo 1 electrónico es fácil y barato de implementar y/o fabricar a nivel industrial.

45

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (100) para detectar fallos en una línea (500) eléctrica LVDC caracterizado por que comprende las etapas siguientes:

- 5 – adquirir (101) una primera señal (V_{LOW}) de detección indicativa de las componentes de baja frecuencia de una corriente (I_G) de desequilibrio entre una pluralidad de conductores de dicha línea eléctrica, en el que dicha primera señal de detección es obtenida por medio de un filtrado de pasa baja de una señal (V_{M1}) de medición correspondiente indicativa de dicha corriente de desequilibrio;
- 10 – adquirir (102) una segunda señal (V_{HIGH}) de detección indicativa de las componentes de alta frecuencia de dicha corriente (I_G) de desequilibrio, en el que dicha segunda señal de detección es obtenida por medio de un filtrado de pasa alta de una señal (V_{M2}) de medición correspondiente indicativa de dicha corriente de desequilibrio;
- obtener (103) una tercera señal (RT) de detección calculando la relación entre dichas señales (V_{LOW} , V_{HIGH}) de detección primera y segunda;
- 15 – comprobar (104) si hay presente o no una corriente (I_F) de CC hacia tierra comparando dicha tercera señal (RT) de detección con un primer valor (TH1) umbral.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que comprende las etapas de:

- comparar dicha segunda señal (V_{HIGH}) de detección con un segundo valor (TH2) umbral, si dicha tercera señal (RT) de detección no excede dicho primer valor (TH1) umbral;
- 20 – generar una señal (WARN) de alarma indicativa de la presencia de corrientes de fuga de alta frecuencia hacia tierra, si dicha segunda señal (V_{HIGH}) de detección excede dicho segundo valor (TH2) umbral.

3. Procedimiento según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende las siguientes etapas de:

- 25 – obtener una cuarta señal (V_{SUM}) de detección indicativa de las corrientes globales que fluyen hacia tierra calculando la suma de dichas señales (V_{LOW} , V_{HIGH}) de detección, primera y segunda, si dicha tercera señal (RT) de detección excede dicho primer valor (TH1) umbral;
- comparar dicha cuarta señal (V_{SUM}) de detección con un tercer valor (TH3) umbral;
- generar una señal (TRIP) de desconexión para ordenar la interrupción de dicha línea (500) eléctrica, si dicha cuarta señal (V_{SUM}) de detección excede dicho tercer valor (TH3) umbral.

30 4. Dispositivo (1) electrónico para detectar fallos en una línea (500) eléctrica LVDC, caracterizado por que comprende:

- medios (2) de detección acoplados operativamente con una pluralidad de conductores de dicha línea eléctrica, en el que dichos medios de detección están adaptados para proporcionar al menos una señal (V_{M1} , V_{M2}) de medición indicativa de una corriente (I_G) de desequilibrio entre los conductores de dicha línea eléctrica;
- 35 – medios (3) de filtrado configurados para procesar dicha señal (V_{M1} , V_{M2}) de medición y proporcionar una primera señal (V_{LOW}) de detección indicativa de las componentes de baja frecuencia de dicha corriente de desequilibrio y una segunda señal (V_{HIGH}) de detección indicativa de las componentes de alta frecuencia de dicha corriente de desequilibrio;
- 40 – medios (4) de procesamiento configurados para procesar dichas señales (V_{LOW} , V_{HIGH}) de detección, primera y segunda, en el que dichos medios de procesamiento están configurados para ejecutar un procedimiento (100) según una o más de las reivindicaciones anteriores.

45 5. Dispositivo electrónico según la reivindicación 4, caracterizado por que dichos medios (2) de detección están adaptados para proporcionar señales (V_{M1} , V_{M2}) de medición, primera y segunda, indicativas de dicha corriente (I_G) de desequilibrio, en el que dichos medios (3) de filtrado están configurados para procesar dichas señales (V_{M1} , V_{M2}) de medición, primera y segunda, y proporcionar dichas señales (V_{LOW} , V_{HIGH}) de detección, primera y segunda.

6. Dispositivo electrónico según una o más de las reivindicaciones 4 o 5, caracterizado por que dichos medios (2) de detección comprenden al menos un núcleo (21) magnético configurado para formar una trayectoria de flujo

magnético encadenada con los conductores de dicha línea eléctrica.

5 7. Dispositivo electrónico según la reivindicación 6, caracterizado por que dichos medios (2) de detección comprenden una sección (220) de circuito de excitación que comprende al menos un devanado (22, 22A, 22B) de excitación enrollado alrededor de dicho núcleo magnético y al menos una fuente (23) de alimentación conectada eléctricamente a dicho devanado de excitación para proporcionar una corriente (I_E) de excitación que circula a lo largo de dicho devanado de excitación, en el que dicha corriente de excitación tiene una frecuencia (f_E) comprendida en el intervalo $0 < f_E < f_{SW}$, donde f_{SW} es la frecuencia de conmutación de un etapa (300) de conversión de CA/CC que alimenta dicha línea (500) eléctrica.

10 8. Dispositivo electrónico según la reivindicación 7, caracterizado por que dichos medios (2) de detección comprenden una sección (240) de circuito de salida que comprende al menos un devanado (24A, 24B) de detección y al menos un elemento (R_{S1} , R_{S2}) de detección conectado eléctricamente con dicho devanado de detección, en el que dicho elemento de detección detecta al menos una corriente (I_{O1} , I_{O2}) de detección que circula a lo largo de dicho devanado de detección y que proporciona al menos una señal (V_{M1} , V_{M2}) de medición indicativa de dicha corriente (I_G) de desequilibrio.

15 9. Dispositivo electrónico según las reivindicaciones 6, 7 y 8, caracterizado por que dichos medios (2) de detección comprenden:

- dicho núcleo (21) magnético;
- dicha sección (220) de circuito de excitación comprende un devanado (22) de excitación enrollado alrededor de dicho núcleo magnético y dicha fuente (23) de alimentación conectada eléctricamente a dicho devanado de excitación;
- dicha sección (240) de circuito de salida comprende:
 - un primer devanado (24A) de detección enrollado alrededor de dicho núcleo magnético y un primer elemento (R_{S1}) de detección conectado eléctricamente con dicho primer devanado de detección, en el que dicho primer elemento de detección detecta una primera corriente (I_{O1}) de detección que fluye a lo largo de dicho primer devanado de detección y proporciona una primera señal (V_{M1}) de medición indicativa de dicha corriente (I_G) de desequilibrio;
 - un segundo devanado (24B) de detección enrollado alrededor de dicho núcleo magnético y un segundo elemento (R_{S2}) de detección conectado eléctricamente con dicho segundo devanado de detección, en el que dicho segundo devanado detecta una segunda corriente (I_{O2}) de detección a lo largo de dicho segundo devanado de detección y proporciona una segunda señal (V_{M2}) de medición indicativa de dicha corriente (I_G) de desequilibrio.

25 30 10. Dispositivo electrónico según la reivindicación 7, caracterizado por que dichos medios (2) de detección comprenden una sección (240) de circuito de salida que comprende al menos un elemento (R_{S1} , R_{S2}) de detección conectado eléctricamente con dicho al menos un devanado de excitación, en el que dicho elemento de detección detecta dicha corriente (I_E) de excitación que fluye a lo largo de dicho devanado de excitación y proporciona al menos una señal (V_{M1} , V_{M2}) de medición indicativa de dicha corriente (I_G) de desequilibrio.

35 11. Dispositivo electrónico según las reivindicaciones 6, 7 y 10, caracterizado por que dichos medios (2) de detección comprenden:

- dicho núcleo (21) magnético;
- dicha sección (220) de circuito de excitación que comprende:
 - un primer devanado (22A) de excitación y un segundo devanado (22B) de excitación enrollado alrededor de dicho núcleo magnético;
 - dicha fuente (23) de alimentación conectada eléctricamente con dichos devanados de excitación, primero y segundo, para proporcionar dicha corriente (I_E) de excitación que fluye a lo largo de dichos devanados de excitación, primero y segundo;
- dicha sección (240) de circuito de salida que comprende:
 - un primer elemento (R_{S1}) de detección conectado eléctricamente con dicho primer devanado de excitación, en el que dicho primer elemento de detección detecta dicha corriente (I_E) de excitación

que fluye a lo largo de dicho primer devanado de detección y proporciona una primera señal (V_{M1}) de medición indicativa de dicha corriente (I_G) de desequilibrio;

- 5
- un segundo elemento (R_{S2}) de detección conectado eléctricamente con dicho segundo devanado de excitación, en el que dicho segundo elemento de detección detecta dicha segunda corriente (I_E) de excitación a lo largo de dicho segundo devanado de detección y proporciona una segunda señal (V_{M2}) de medición indicativa de dicha corriente (I_G) de desequilibrio.

12. Disposición electrónica para redes de distribución de energía eléctrica LVDC caracterizada por que comprende un dispositivo (1) electrónico según una o más de las reivindicaciones de 4 a 11.

- 10
13. Dispositivo (150) de conmutación para redes de distribución de energía eléctrica LVDC caracterizado por que comprende un dispositivo (1) electrónico según una o más de las reivindicaciones de 4 a 11.

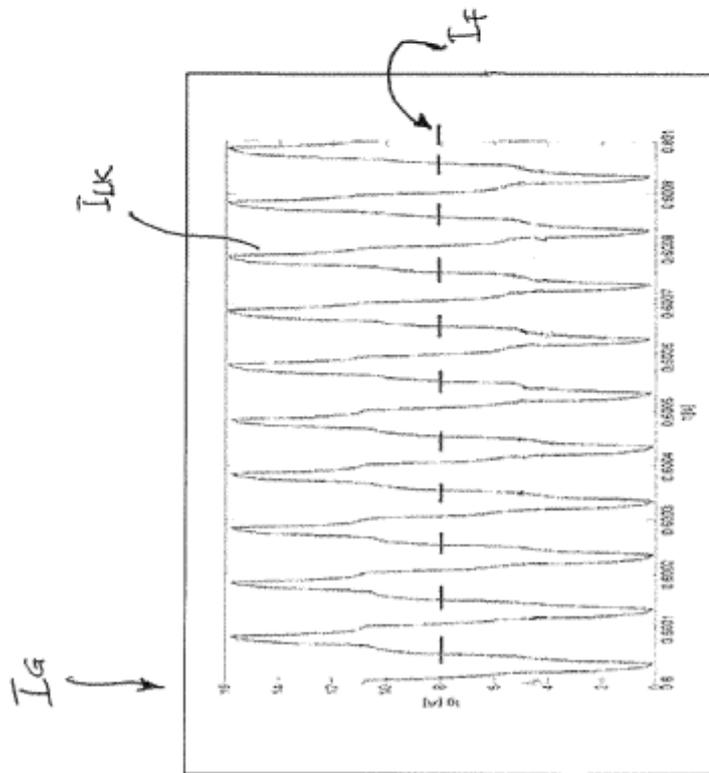
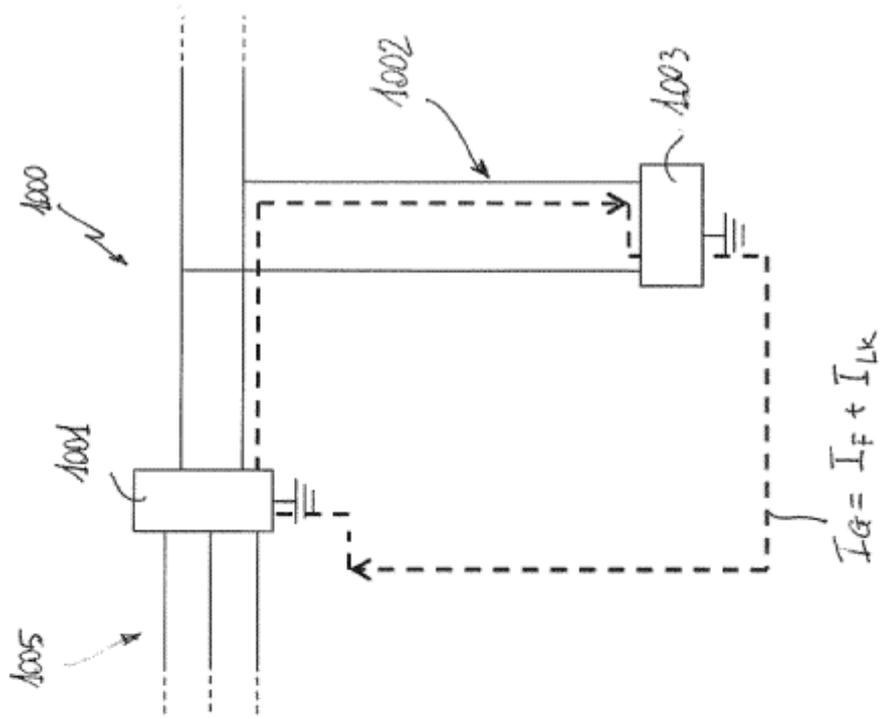


FIG. 1A

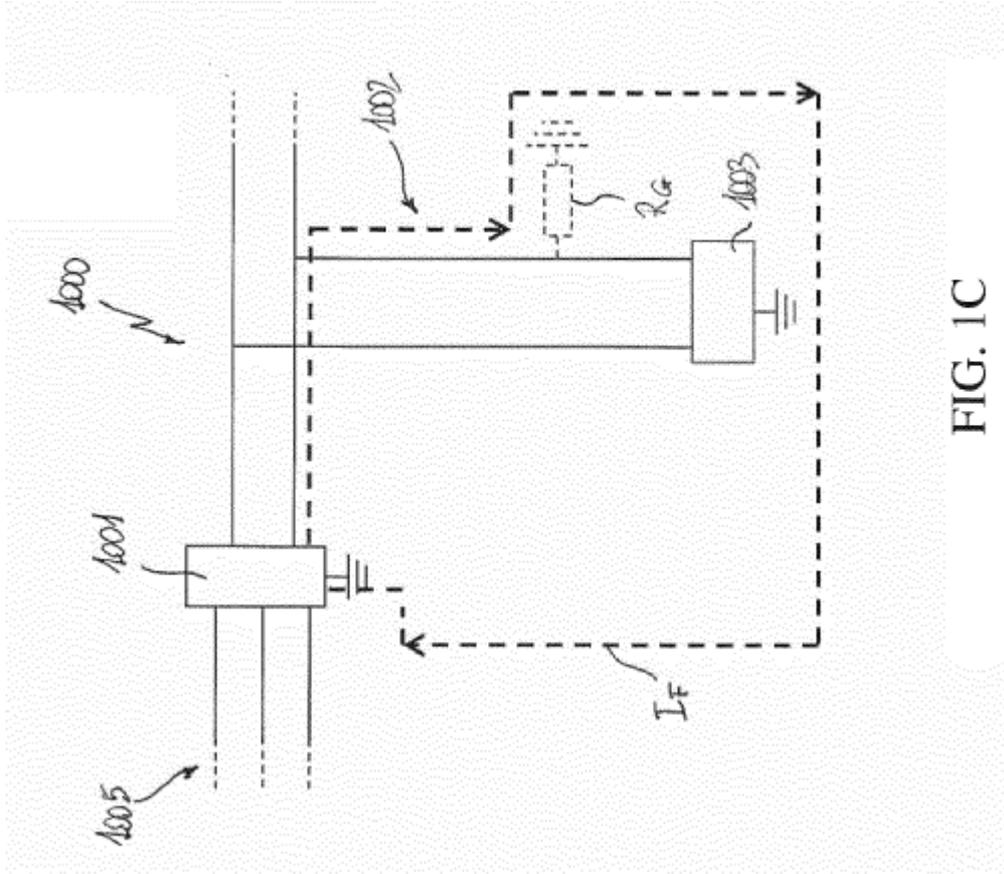


FIG. 1C

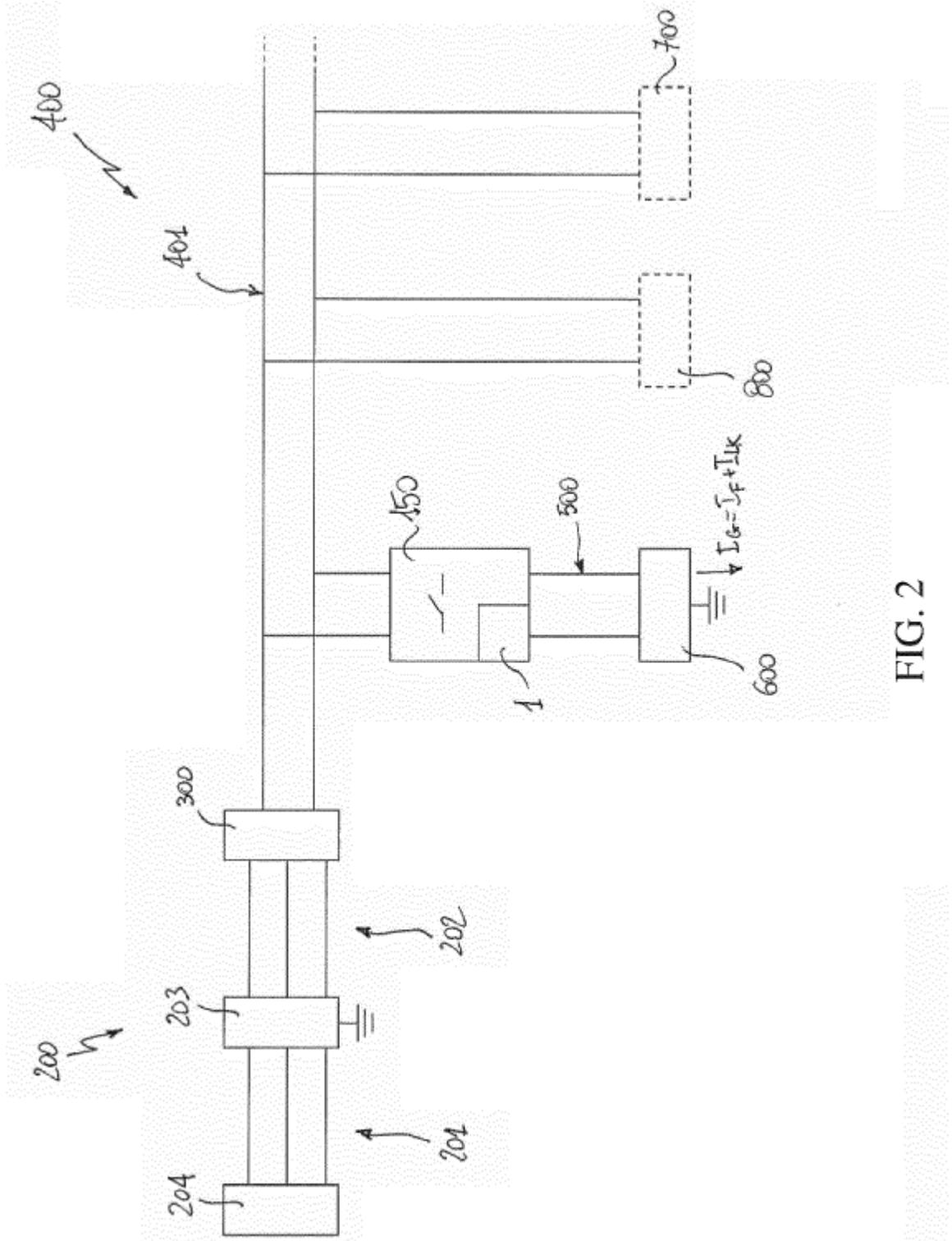


FIG. 2

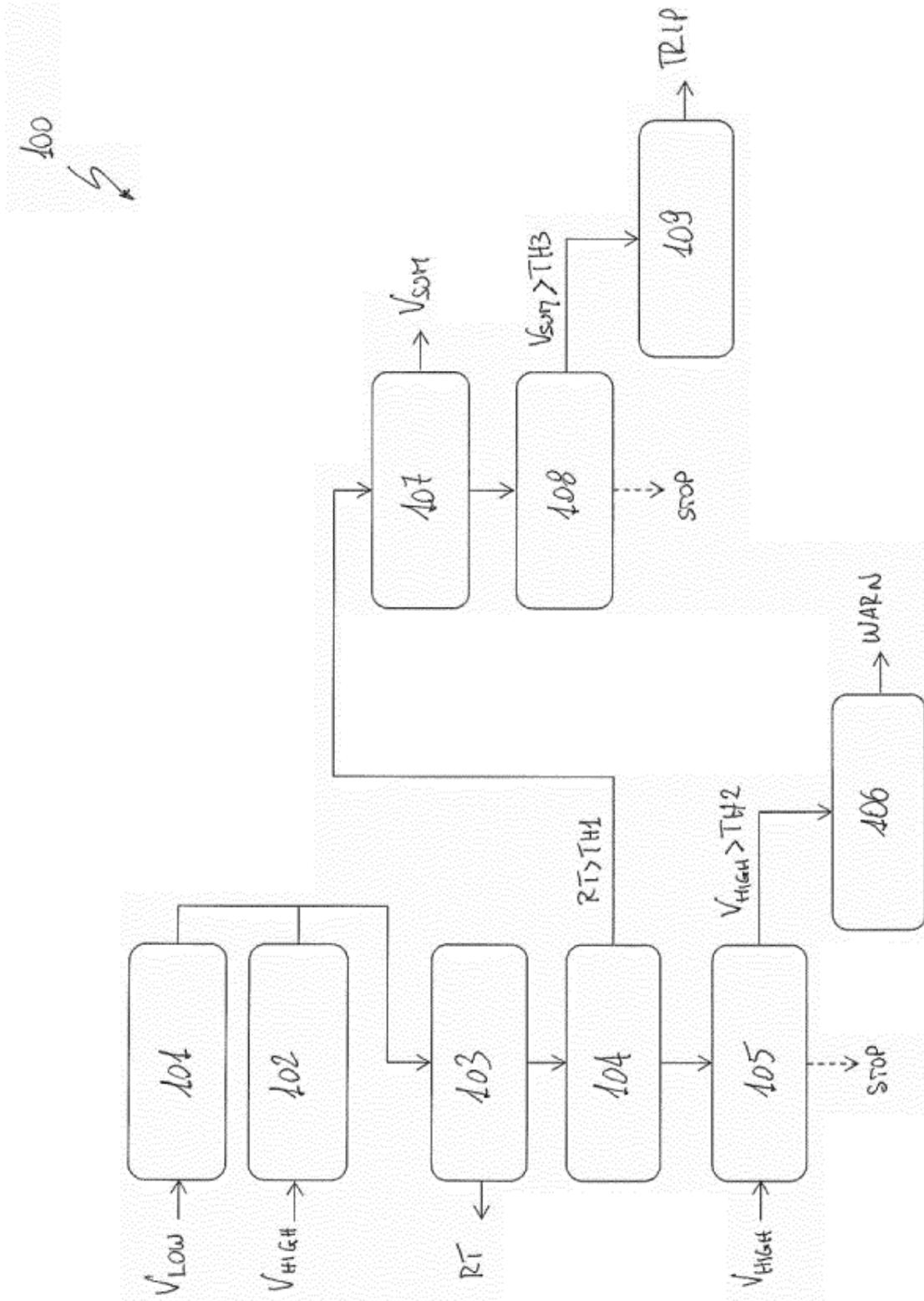


FIG. 3

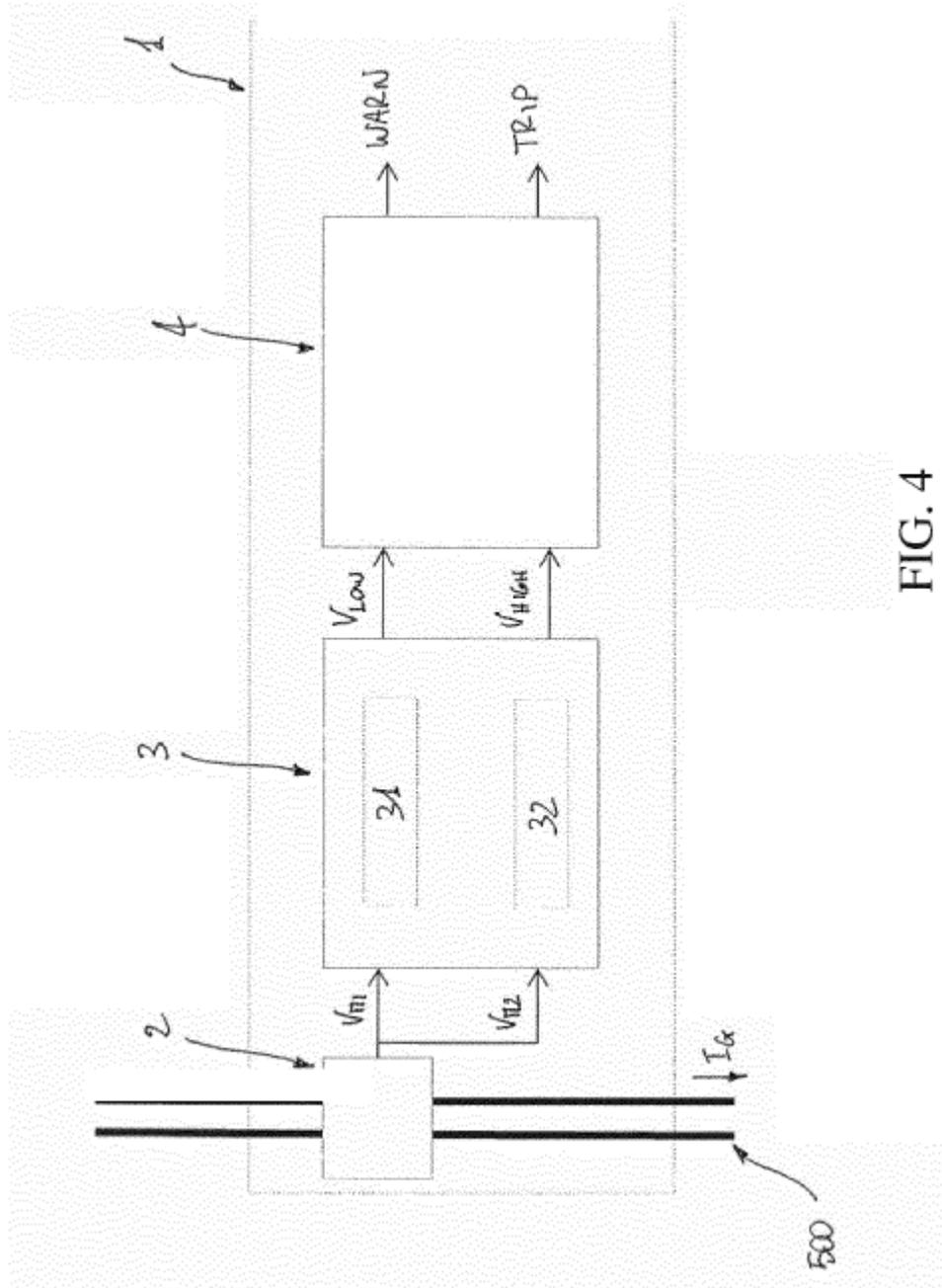


FIG. 4

