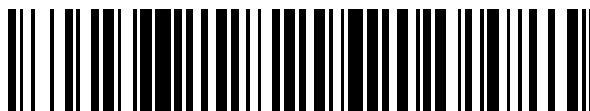


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 222**

51 Int. Cl.:

H02H 3/00 (2006.01)

H02H 7/26 (2006.01)

H02H 3/08 (2006.01)

H02H 3/40 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.08.2016** **E 16186690 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.06.2019** **EP 3291399**

54 Título: **Aparato de protección**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
24.02.2020

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC TECHNOLOGY GMBH
(100.0%)
Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**HA, HENGXU y
LIAN, YANG**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 744 222 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

Aparato de protección

La presente invención se refiere a un aparato de protección, y a un procedimiento de operación de un aparato de protección.

5 Se conoce el uso de dispositivos de protección, tales como disyuntores y relés, que son operados en el caso de un fallo con el fin de proteger una red eléctrica contra fallos.

El documento US 2015/346286 A1 describe un procedimiento para detectar un fallo en una red de suministro de energía.

El documento US 2016/116522 A1 describe un procedimiento de localización de fallos completamente adaptativo.

10 El documento CN 102.403.792 A describe un procedimiento de control y un sistema de control de protección con coordinación inteligente, autoadaptable, de una red de alimentación multiagente.

Aunque la invención se define en las reivindicaciones independientes, aspectos adicionales se exponen en las reivindicaciones dependientes, en los dibujos y en la siguiente descripción.

Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un aparato de protección para proteger una red eléctrica, comprendiendo el aparato de protección:

15 al menos un dispositivo de protección configurado para proteger la red eléctrica contra un fallo en la respuesta a o el cumplimiento de un criterio de protección respectivo; y

un controlador configurado para: recibir información en tiempo real acerca de un cambio en la estructura topológica de la red eléctrica; realizar una determinación en línea de la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real de la red eléctrica en base al cambio de la estructura topológica de la red eléctrica; y adaptar el o cada criterio de protección en base a la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real.

20

Durante la operación de la red eléctrica, la estructura topológica de la red eléctrica puede cambiar como resultado de un cambio en el estado de uno o más componentes de la red eléctrica, tal como una conexión o desconexión durante el funcionamiento de un componente a o desde la red eléctrica, una retirada temporal o permanente de un componente desde la red eléctrica, y una adición temporal o permanente de un nuevo componente a o desde la red eléctrica.

25 Por ejemplo, el cambio en la estructura topológica de la red eléctrica puede incluir al menos uno de entre:

una conexión de al menos una fuente eléctrica a la red eléctrica;

una conexión de al menos una fuente eléctrica a la red eléctrica;

una conexión de al menos una carga eléctrica a la red eléctrica;

una desconexión de al menos una carga eléctrica desde la red eléctrica;

30 una conexión de al menos un enlace eléctrico previamente abierto de la red eléctrica;

una desconexión de al menos un enlace eléctrico previamente cerrado de la red eléctrica;

un aumento o disminución en la potencia de al menos una carga eléctrica conectada o al menos una fuente eléctrica conectada de la red eléctrica.

35 Un ejemplo de una fuente eléctrica es, pero no se limita a, un generador distribuido. Un ejemplo de una carga eléctrica es, pero no se limita a, un bus o un alimentador. La conexión o desconexión de un enlace eléctrico previamente abierto o cerrado ser el resultado de un cambio de estado de conmutación de un dispositivo de conmutación asociado (tal como un relé, disyuntor y similares).

40 El controlador puede recibir la información en tiempo real acerca del cambio en la estructura topológica de la red eléctrica, por ejemplo, desde otro controlador, uno o más sensores, y uno o más componentes de la red eléctrica. La información en tiempo real puede estar relacionada, por ejemplo, con al menos una propiedad eléctrica de la red eléctrica, al menos una propiedad eléctrica de uno o más componentes de la red eléctrica, y un estado de conmutación de al menos un dispositivo de conmutación.

45 Debido a que el criterio de protección del dispositivo de protección o de cada dispositivo de protección está diseñado en base a la estructura topológica anterior de la red eléctrica antes de que ocurra el cambio en la estructura topológica de la red eléctrica, el cambio en la estructura topológica de la red eléctrica puede conducir a un mal funcionamiento o la

5 pérdida de la protección del dispositivo de protección o de cada dispositivo de protección, como resultado de que el criterio de protección o cada criterio de protección no coincida con la nueva estructura topológica de la red eléctrica. Por consiguiente, la capacidad del dispositivo de protección o de cada dispositivo de protección para reaccionar apropiadamente a un fallo se vería afectada de manera adversa. Por ejemplo, en dichas circunstancias, la capacidad de protección del dispositivo de protección o de cada dispositivo de protección puede activarse cuando no se requiere que lo haga, o puede permanecer inactivo cuando se requiere que lo haga.

10 Con el fin de evitar el mal funcionamiento o la pérdida de protección indicados anteriormente, el aparato de protección de la invención está diseñado para permitir la adaptación dinámica y automática de los criterios de protección del dispositivo de protección o de cada dispositivo de protección según el cambio en la estructura topológica de la red eléctrica, lo cual es particularmente crucial cuando la estructura topológica de la red eléctrica cambia con frecuencia y/o de manera inesperada. A su vez, esto elimina o minimiza la exposición de la red eléctrica al riesgo de un mal funcionamiento o una pérdida de protección del dispositivo de protección o de cada dispositivo de protección.

15 Por el contrario, en base a una determinación en línea del criterio de protección o de cada nuevo criterio de protección y la actualización manual del criterio de protección o de cada criterio de protección puede no coincidir con la variación de la estructura topológica de la red eléctrica o puede no coincidir con las potencias de las cargas eléctricas y las fuentes eléctricas y, de esta manera, corre un alto riesgo de exponer a la red eléctrica a un mal funcionamiento o a una pérdida de protección del dispositivo de protección o de cada dispositivo de protección. Además, es imposible realizar la determinación fuera de línea de la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real y la actualización manual del criterio de protección o de cada criterio de protección para una red eléctrica con una estructura topológica que cambia con frecuencia y/o de manera inesperada. Esto es debido a que el criterio de protección o cada criterio de protección para una red eléctrica normalmente se calcularía normalmente fuera de línea en base a un escenario del peor caso, y el criterio de protección o cada criterio de protección calculado fuera de línea se fijaría a continuación independientemente de cualquier cambio en la estructura topológica de la red eléctrica.

25 Además, la capacidad de adaptar de manera dinámica y automática los criterios de protección del dispositivo de protección o de cada dispositivo de protección en respuesta al cambio en la estructura topológica de la red eléctrica evita la necesidad de colocar fuera de línea el dispositivo de protección o cada dispositivo de protección (lo que deja a la red eléctrica vulnerable a fallos) con el fin de evitar un mal funcionamiento o una pérdida de la protección del dispositivo de protección o de cada dispositivo de protección.

30 Además, el uso de la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real proporciona información acerca de la nueva estructura topológica de la red eléctrica que permite la determinación del nuevo criterio de protección o de cada nuevo criterio de protección de una manera eficiente en lo referente al tiempo.

Por lo tanto, la provisión del controlador en el aparato de protección de la invención resulta en una protección fiable y precisa para la red eléctrica.

35 En realizaciones de la invención, el controlador puede estar configurado para adaptar el criterio de protección o cada criterio de protección mediante la determinación de un voltaje fuente equivalente y/o una impedancia o admitancia equivalente vista por el dispositivo de protección o cada dispositivo de protección en base a la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real, y mediante la determinación del criterio de protección o de cada criterio de protección en base al voltaje fuente equivalente determinado y/o la impedancia o la admitancia equivalente.

40 En dichas realizaciones, el controlador puede estar configurado para adaptar el criterio de protección o cada criterio de protección mediante la determinación de un voltaje fuente equivalente y/o una impedancia o admitancia equivalente vista por el dispositivo de protección o cada dispositivo de protección en base a la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real, y al voltaje y a la corriente medidos de una parte (por ejemplo, un nodo) de la red eléctrica correspondiente al dispositivo de protección o a cada dispositivo de protección, y mediante la determinación del criterio de protección o de cada criterio de protección en base al voltaje fuente equivalente determinado y/o la impedancia o la admitancia equivalente.

La información acerca de la nueva estructura topológica de la red eléctrica transportada en la forma del voltaje fuente equivalente y/o la impedancia o admitancia equivalente vista por el dispositivo de protección o cada dispositivo de protección permite una fácil determinación del nuevo criterio de protección o de cada nuevo criterio de protección.

50 Preferiblemente, el voltaje fuente equivalente y la impedancia o admitancia equivalente son, respectivamente, el voltaje fuente equivalente de Thevenin y la impedancia o admitancia equivalente de Thevenin.

Según la invención, el controlador está configurado para realizar la determinación en línea de la matriz de impedancia o admitancia en tiempo real de la red eléctrica mediante la modificación de una matriz de impedancia o admitancia de referencia de la red eléctrica en base al cambio en la estructura topológica de la red eléctrica con el fin de determinar la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real.

La modificación de la matriz de impedancia o de admitancia de referencia resulta en una determinación más eficiente en el tiempo de la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real, especialmente cuando la estructura topológica de la red eléctrica cambia con frecuencia y/o de manera inesperada, cuando se compara con la determinación de la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real sin el uso de un punto de partida de referencia.

5 El controlador puede estar configurado para recibir información acerca la estructura topológica de la red eléctrica y para realizar una determinación de la matriz de impedancia o de admitancia de referencia antes del cambio de la estructura topológica de la red eléctrica. La configuración del controlador de esta manera permite una determinación automática de la matriz de impedancia o de admitancia de referencia.

10 Una manera de determinar la matriz de impedancia o de admitancia de referencia puede ser o puede incluir el uso del procedimiento de adición de ramificación.

La determinación de la matriz de impedancia o de admitancia de referencia puede ser una determinación fuera de línea de la matriz de impedancia o de admitancia de referencia. Dicha determinación fuera de línea por el controlador puede llevarse a cabo, por ejemplo, durante la instalación de la red eléctrica o de un nuevo componente de la red eléctrica, o cuando la red eléctrica se coloca fuera de línea.

15 De manera alternativa, en otras realizaciones, la matriz de impedancia o admitancia de referencia pueden ser determinada fuera de línea con otros medios, tales como un controlador o un ordenador externo a la red eléctrica, antes de que la matriz de impedancia o de admitancia de referencia sea proporcionada como una entrada al controlador.

20 La matriz de impedancia o de admitancia de referencia puede omitir al menos una fuente eléctrica de la red eléctrica y/o al menos una carga eléctrica de la red eléctrica. Esto simplifica la determinación de la matriz de impedancia o de admitancia de referencia, ya que la red eléctrica puede experimentar conexiones y desconexiones frecuentes y / o inesperadas de al menos una fuente eléctrica y/o al menos una carga eléctrica.

25 En realizaciones adicionales de la invención, el controlador puede estar configurado para determinar un valor de impedancia o de admitancia equivalente de al menos un componente de la red eléctrica y para combinar el valor de impedancia o de admitancia equivalente o cada valor de impedancia o de admitancia equivalente en la matriz de impedancia o de admitancia de referencia mediante adición o resta para determinar la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real.

La modificación de la matriz de impedancia o de admitancia de referencia de esta manera proporciona una matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real que refleja con precisión el estado actual de la estructura topológica de la red eléctrica.

30 El valor de impedancia o de admitancia equivalente o cada valor de impedancia o de admitancia equivalente puede seleccionarse de un grupo que incluye:

una impedancia o admitancia de carga equivalente de una carga eléctrica de la red eléctrica;

una impedancia o admitancia de fuente equivalente de una fuente eléctrica de la red eléctrica;

una impedancia o admitancia equivalente de un enlace eléctrico de la red eléctrica.

35 El controlador puede estar configurado en una diversidad de maneras, cuyos ejemplos se describen como sigue.

El controlador puede ser una única unidad de control o puede incluir múltiples unidades de control.

El controlador puede incluir una primera unidad de control y al menos una segunda unidad de control, la primera unidad de control en comunicación con la segunda unidad de control o con cada segunda unidad de control. La segunda unidad de control o cada segunda unidad de control puede estar asociada con el o el dispositivo de protección correspondiente.

40 La primera unidad de control puede ser un controlador de nivel superior, tal como un controlador de nivel de subestación.

La primera unidad de control y/o la segunda unidad de control o cada segunda unidad de control pueden estar también en comunicación con una o más unidades de control diferentes, por ejemplo, un controlador global.

45 La primera unidad de control puede estar configurada para: recibir información en tiempo real acerca de una parte de la red eléctrica correspondiente al dispositivo de protección o a cada dispositivo de protección de la segunda unidad de control o de cada segunda unidad de control; y realizar una determinación en línea de la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real en base a la información en tiempo real recibida desde la segunda unidad de control o cada segunda unidad de control. La información en tiempo real desde la segunda unidad de control o cada segunda unidad de control puede estar relacionada, por ejemplo, con las propiedades eléctricas del dispositivo de protección o de cada dispositivo de protección, tales como la corriente y el voltaje, y un estado de conmutación del dispositivo de protección o

de cada dispositivo de protección.

5 En dichas realizaciones, la primera unidad de control puede estar configurada para transmitir la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real a la segunda unidad de control o cada segunda unidad de control, y la segunda unidad de control o cada segunda unidad de control puede estar configurada para adaptar el criterio de protección o cada criterio de protección en base a la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real.

10 La determinación de la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real usando la primera unidad de control y la adaptación del criterio de protección o de cada criterio de protección usando la segunda unidad de control o cada segunda unidad de control de esta manera permite la determinación de la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real y la adaptación del criterio de protección o de cada criterio de protección realizado en diferentes niveles. A su vez, esto permite una reducción en la dimensión de la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real, lo que mejora la eficiencia y la fiabilidad del controlador en la ejecución de sus diversas tareas.

15 La división de las tareas de determinación de la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real y la adaptación del criterio de protección o de cada criterio de protección entre las unidades de control primera y segunda de la manera anterior pueden ser particularmente eficaces cuando hay un gran número de dispositivos de protección y, por lo tanto, un gran número de segundas unidades de control, o cuando la invención se usa para una red eléctrica con una topología de gran tamaño y/o compleja.

20 En todavía otras realizaciones de la invención, el dispositivo de protección o cada dispositivo de protección puede ser o puede incluir un relé de protección contra sobrecorrientes, y el criterio de protección o cada criterio de protección puede ser o puede incluir un nivel de fallo de un dispositivo de interrupción de circuito (por ejemplo, un disyuntor) asociado con el relé de protección contra sobrecorrientes y/o un valor de ajuste del relé de protección contra sobrecorrientes. La invención es particularmente aplicable a un relé de protección contra sobrecorrientes, ya que el nivel de fallo de un dispositivo de interrupción de circuito asociado con el relé de protección contra sobrecorrientes y/o un valor de ajuste del relé de protección contra sobrecorrientes pueden verse afectados por un cambio en la estructura topológica de la red eléctrica.

25 En todavía otras realizaciones de la invención, el dispositivo de protección o cada dispositivo de protección puede ser o puede incluir un relé de protección de distancia, y el criterio de protección o cada criterio de protección puede ser o puede incluir un valor de ajuste de alcance del relé de protección de distancia. La invención es particularmente aplicable a un relé de protección de distancia, ya que la precisión del valor de ajuste de alcance del relé de protección de distancia puede verse afectada por un cambio en la estructura topológica de la red eléctrica.

30 Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento de funcionamiento de un aparato de protección para proteger una red eléctrica, comprendiendo el aparato de protección al menos un dispositivo de protección configurado para proteger a la red eléctrica contra un fallo en respuesta a o al cumplimiento de un criterio de protección respectivo, incluyendo el procedimiento las etapas de:

recibir información en tiempo real acerca de un cambio en la estructura topológica de la red eléctrica;

35 realizar una determinación en línea de la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real de la red eléctrica en base al cambio de la estructura topológica de la red eléctrica; y

adaptar el criterio de protección o de cada criterio de protección en base a la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real.

40 Las ventajas del aparato de protección del primer aspecto de la invención y de sus realizaciones se aplican, mutatis mutandis, al procedimiento del segundo aspecto de la invención y a sus formas de realización.

En el procedimiento de la invención, el cambio en la estructura topológica de la red eléctrica puede incluir al menos uno de entre:

una conexión de al menos una fuente eléctrica a la red eléctrica;

una desconexión de al menos una fuente eléctrica desde la red eléctrica;

45 una conexión de al menos una carga eléctrica a la red eléctrica;

una desconexión de al menos una carga eléctrica desde la red eléctrica;

una conexión de al menos un enlace eléctrico previamente abierto de la red eléctrica;

una desconexión de al menos un enlace eléctrico previamente cerrado de la red eléctrica.

un aumento o disminución en la potencia de al menos una carga eléctrica conectada o al menos una fuente eléctrica conectada de la red eléctrica.

5 El procedimiento de la invención puede incluir la etapa de adaptar el criterio de protección o cada criterio de protección mediante la determinación de un voltaje fuente equivalente y/o una impedancia o admitancia equivalente vista por el dispositivo de protección o cada dispositivo de protección en base a la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real, y mediante la determinación del criterio de protección o de cada criterio de protección en base al voltaje fuente equivalente determinado y/o la impedancia o la admitancia equivalente.

10 El procedimiento de la invención puede incluir además la etapa de adaptar el criterio de protección o cada criterio de protección mediante la determinación de un voltaje fuente equivalente y/o una impedancia o admitancia equivalente vista por el dispositivo de protección o cada dispositivo de protección en base a la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real, y al voltaje y a la corriente medidos de una parte (por ejemplo, un nodo) de la red eléctrica correspondiente al dispositivo de protección o a cada dispositivo de protección, y mediante la determinación del criterio de protección o de cada criterio de protección en base al voltaje fuente equivalente determinado y/o la impedancia o la admitancia equivalente.

15 En el procedimiento de la invención, el voltaje fuente equivalente y la impedancia o admitancia equivalente pueden ser, respectivamente, el voltaje fuente equivalente de Thevenin y la impedancia o admitancia equivalente de Thevenin.

20 El procedimiento de la invención puede incluir la etapa de realizar la determinación en línea de la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real de la red eléctrica mediante la modificación de una matriz de impedancia o de admitancia de referencia de la red eléctrica en base al cambio en la estructura topológica de la red eléctrica con el fin de determinar la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real.

El procedimiento de la invención puede incluir además las etapas de: recibir información acerca la estructura topológica de la red eléctrica y realizar una determinación de la matriz de impedancia o de admitancia de referencia antes del cambio de la estructura topológica de la red eléctrica.

25 En el procedimiento de la invención, la determinación de la matriz de impedancia o de admitancia de referencia puede ser una determinación fuera de línea de la matriz de impedancia o de admitancia de referencia.

En el procedimiento de la invención, la matriz de impedancia o de admitancia de referencia puede omitir al menos una fuente eléctrica de la red eléctrica y/o al menos una carga eléctrica de la red eléctrica.

30 El procedimiento de la invención incluye además las etapas de: determinar un valor de impedancia o de admitancia equivalente de al menos un componente de la red eléctrica; y combinar el valor de impedancia o de admitancia o cada valor de impedancia o de admitancia equivalente en la matriz de impedancia o de admitancia de referencia mediante adición o resta para determinar la matriz de impedancia o de admitancia en tiempo real.

El valor de impedancia o de admitancia equivalente o cada valor de impedancia o de admitancia equivalente puede seleccionarse de un grupo que incluye:

una impedancia o admitancia de carga equivalente de una carga eléctrica de la red eléctrica;

35 una impedancia o admitancia de fuente equivalente de una fuente eléctrica de la red eléctrica;

una impedancia o admitancia equivalente de un enlace eléctrico de la red eléctrica.

40 En el procedimiento de la invención, el dispositivo de protección o cada dispositivo de protección puede ser o puede incluir un relé de protección contra sobrecorrientes, y el criterio de protección o cada criterio de protección puede ser o puede incluir un nivel de fallo de un dispositivo de interrupción de circuito (por ejemplo, un disyuntor) asociado con el relé de protección contra sobrecorrientes y/o un valor de ajuste del relé de protección contra sobrecorrientes.

En el procedimiento de la invención, el dispositivo de protección o cada dispositivo de protección puede ser o puede incluir un relé de protección de distancia, y el criterio de protección o cada criterio de protección puede ser o puede incluir un valor de ajuste de alcance del relé de protección de distancia.

45 A continuación, se describirá una realización preferida de la invención, por medio de un ejemplo no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 muestra esquemáticamente una red eléctrica que incluye un aparato de protección según una realización de la invención;

La Figura 2 muestra esquemáticamente el voltaje fuente equivalente y la impedancia equivalente vistos por un dispositivo de protección de la red eléctrica de la Figura 1.

La Figura 3 muestra esquemáticamente una disposición de un controlador del aparato de protección de la Figura 1;

La Figura 4 ilustra la determinación de una matriz de impedancia de referencia de la red eléctrica de la Figura 1 usando el procedimiento de adición de ramificación; y

Las Figuras 5 y 6 ilustran la determinación de una matriz de impedancia en tiempo real de la red eléctrica de la Figura 1.

5 Las figuras no están necesariamente a escala y ciertas características y ciertas vistas de las figuras puede mostrarse exageradas en escala o en forma esquemática en aras de la claridad y concisión.

Una red 20 eléctrica se muestra en la Figura 1 y está indica, en general, mediante el número de referencia 20.

10 La red 20 eléctrica incluye una subestación con buses 22, 24, 26 primero, segundo y tercero. El primer bus 22 está conectado a una sección de nivel superior de la red 20 eléctrica (tal como una sección de transmisión de energía) que está representada por un voltaje fuente equivalente y una impedancia Z_s del sistema. El primer bus 22 está conectado al segundo bus 24 a través de un transformador, y el primer bus 22 está conectado también al tercer bus 26 a través de otro transformador. Los disyuntores respectivos están conectados a ambos lados de cada transformador. Los buses 24, 26 2º y 3º están interconectados a través de un enlace eléctrico que incluye un disyuntor.

15 Múltiples alimentadores 30 se extienden desde el segundo bus 24, y un generador 32 distribuido está conectado a uno de los alimentadores 30 que se extiende desde el segundo bus 24. Otros múltiples alimentadores 30 se extienden desde el tercer bus 26, y otro generador 32 distribuido está conectado a través de un disyuntor al tercer bus 26.

20 Un dispositivo de protección respectivo está conectado en cada alimentador 30. En la realización mostrada, cada dispositivo de protección tiene la forma de un relé de protección contra sobrecorrientes, que está configurado para operar un disyuntor asociado para conmutar a un estado abierto para desconectar el alimentador 30 correspondiente en el evento en el que una sobrecorriente cumpla su criterio de protección. La configuración de cada relé de protección contra sobrecorrientes de esta manera le permite proteger el alimentador 30 correspondiente contra sobrecorrientes.

25 Cada criterio de protección, es decir, el nivel de fallo del disyuntor asociado con cada relé de protección contra sobrecorrientes y el valor de ajuste de cada relé de protección contra sobrecorrientes, se calculan a partir del voltaje E_{TH} fuente equivalente y de la impedancia Z_{TH} equivalente de la red 20 eléctrica, tal como los ve cada relé de protección contra sobrecorrientes. La Figura 2 muestra esquemáticamente el voltaje E_{TH} fuente equivalente de Thevenin y la impedancia Z_{TH} equivalente de Thevenin vistos por un dispositivo de protección de la red 20 eléctrica de la Figura 1.

30 Para cada alimentador 30, el nivel I_{FL} de fallo de cada interruptor asociado con un relé de protección contra sobrecorrientes respectivo se calcula como $I_{FL} = E_{TH} / Z_{TH}$, mientras que el valor I_{ajuste} de ajuste de cada relé de protección contra sobrecorrientes se calcula como $I_{ajuste} = 1,2 * E_{TH} / (Z_{TH} + Z_L)$, donde Z_L es la impedancia global del alimentador 30 correspondiente. Se apreciará que el coeficiente 1,2 para el cálculo del valor I_{ajuste} de ajuste puede ser reemplazado por otro coeficiente de un valor diferente.

35 Sin embargo, durante el funcionamiento de la red 20 eléctrica, el voltaje fuente equivalente y la impedancia equivalente de la red 20 eléctrica, tal como los ve cada relé de protección contra sobrecorrientes, pueden cambiar debido a un cambio en la estructura topológica de la red 20 eléctrica. Por ejemplo, el cambio en la estructura topológica de la red 20 eléctrica puede incluir al menos uno de entre: una conexión o desconexión de al menos un generador 32 distribuido a o desde la red 20 eléctrica; una conexión o desconexión de al menos un alimentador 30 a o desde la red 20 eléctrica; una conexión de al menos un enlace eléctrico previamente abierto de la red 20 eléctrica debido al cierre de un disyuntor asociado; una desconexión de al menos un enlace eléctrico previamente cerrado de la red 20 eléctrica debido a la apertura de un disyuntor asociado; un aumento o disminución de la potencia de al menos un alimentador 30 conectado o al menos un generador 32 distribuido conectado de la red 20 eléctrica.

40 El cambio en el voltaje E_{TH} fuente equivalente y en la impedancia Z_{TH} equivalente de la red 20 eléctrica, tal como los ve un relé de protección contra sobrecorrientes determinado, significa que el criterio de protección correspondiente ya no coincide con la nueva estructura topológica de la red 20 eléctrica, lo que podría conducir a un mal funcionamiento o a una pérdida de protección del dispositivo o de cada dispositivo de protección. A su vez, esto deja a la red 20 eléctrica vulnerable a sobrecorrientes y afecta negativamente el rendimiento de cada dispositivo de protección.

45 El aparato de protección incluye además un controlador. El controlador incluye una primera unidad de control, que tiene la forma de una unidad 34 de control central, y múltiples segundas unidades de control, que tiene la forma de una unidad 36 de control distribuida. Cada unidad 36 de control distribuida está asociada con un relé respectivo de los relés de protección contra sobrecorrientes.

50 Tal como se muestra en la Figura 3, la unidad 34 de control central está en comunicación con cada una de las unidades 36 de control distribuidas. De esta manera, la unidad 34 de control central puede obtener información en tiempo real desde cada unidad 36 de control distribuida y transmitir información de vuelta a cada unidad 36 de control distribuida,

mientras que cada unidad 36 de control distribuida puede obtener información en tiempo real acerca del relé de protección contra sobrecorrientes correspondiente y del alimentador 30 y proporcionar la información en tiempo real obtenida a la unidad 34 de control central. Cada unidad 36 de control distribuida está configurada para establecer el criterio de protección del relé de protección contra sobrecorrientes correspondiente.

5 El controlador está configurado para permitir la adaptación dinámica y automática de cada criterio de protección en respuesta al cambio en la estructura topológica de la red 20 eléctrica. Dicha configuración del controlador se describe a continuación, con referencia a las Figuras 3 a 6.

10 Inicialmente, una matriz Z_{M0} de impedancia de referencia es formulada usando el procedimiento de adición de ramificación. Las cargas y los generadores 32 distribuidos conectados en los buses 24, 26 se contabilizan en la formulación de la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia. Preferiblemente, la formulación de la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia se realiza fuera de línea y, a continuación, se proporciona como una entrada a la unidad 34 de control central.

La Figura 4 ilustra la determinación de una matriz Z_{M0} de impedancia de referencia de la red 20 eléctrica de la Figura 1 usando el procedimiento de adición de ramificación.

15 Los buses 22, 24, 26 en la red 20 eléctrica están numerados como 1, 2 y 3.

La impedancia de ramificación de una ramificación a tierra arbitraria conectada al 1^{er} bus 22 se añade a la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia de manera que $Z_{M0} = [Z_S]$. Entonces, k se establece como 1.

20 Esto es seguido por la denominada etapa de "adición de ramificación" de adición de otra ramificación conectada con el k-ésimo bus y el n-ésimo bus (suponiendo que la impedancia de la ramificación es Z_{kn}) en la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia previa.

Si el n-ésimo bus es un bus nuevo, entonces la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia aumentará en una fila y una columna (supóngase que la dimensión de la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia es $(n-1)*(n-1)$), en la que:

los elementos de la n-ésima columna vienen determinados por:

25
$$Z_{M0}[i][n] = Z_{M0}[i][k] \quad (i=1,2,\dots,n-1) \quad [1]$$

los elementos de la n-ésima fila vienen determinados por:

$$Z_{M0}[n][i] = Z_{M0}[k][i] \quad (i=1,2,\dots,n-1) \quad [2]$$

el elemento de la n-ésima fila y la n-ésima columna viene determinado por:

30
$$Z_{M0}[n][n] = Z_{M0}[k][k] + z_{kn} \quad [3]$$

Al añadir la ramificación entre los buses 22, 24 1^o y 2^o a la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia en [2], en el que la impedancia de ramificación de la ramificación entre los buses 22, 24 1^o y 2^o es Z_{T1} , la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia se convierte en:

35
$$Z_{M0} = \begin{bmatrix} z_0 & z_0 \\ z_0 & z_0 + z_{T1} \end{bmatrix} \quad [4]$$

Al añadir la ramificación entre los buses 24, 26 2^o y 3^o a la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia en [4], en el que la impedancia de ramificación de la ramificación entre los buses 24, 26 2^o y 3^o es Z_{T2} , la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia se convierte en:

40
$$Z_{M0} = \begin{bmatrix} z_0 & z_0 & z_0 \\ z_0 & z_0 + z_{T1} & z_0 \\ z_0 & z_0 & z_0 + z_{T2} \end{bmatrix} \quad [5]$$

Si k-ésimo bus y el n-ésimo bus son buses existentes en la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia previa, significa que la ramificación correspondiente es un enlace eléctrico. Por lo tanto, la dimensión de la nueva matriz Z_{M0} de impedancia de referencia es la misma que la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia previa. Los elementos de la nueva matriz Z_{M0} de impedancia de referencia vendrán determinados por:

$$Z_{M0Nuevo}[i][j] = Z_{M0}[i][j] + \frac{(Z_{M0}[i][n] - Z_{M0}[i][k])(Z_{M0}[k][j] - Z_{M0}[n][j])}{Z_{M0}[k][k] + Z_{M0}[n][n] - 2Z_{M0}[k][n] + z_{kn}} \quad [6]$$

Si un bus de la ramificación es un bus existente y otro bus de la ramificación está conectado a tierra, entonces la ramificación es un enlace eléctrico conectado a tierra. Esto significa que la dimensión de la nueva matriz Z_{M0} de impedancia de referencia es la misma que la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia previa. Los elementos de la nueva matriz Z_{M0} de impedancia de referencia vendrán determinados por:

$$Z_{M0Nuevo}[i][j] = Z_{M0}[i][j] - \frac{Z_{M0}[i][k]Z_{M0}[k][j]}{Z_{M0}[k][k] + z_{kn}} \quad [7]$$

La etapa anterior de "adición de ramificación" se repite hasta que todas las ramificaciones de la red 20 eléctrica se añaden a la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia.

A continuación, la unidad central recibe la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia y usa la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia para realizar una determinación en línea de una matriz Z_{MD} de impedancia en tiempo real de la red 20 eléctrica en base al cambio en la estructura topológica de la red 20 eléctrica. En particular, la determinación en línea de la matriz Z_{MD} de impedancia en tiempo real implica tener en cuenta la modificación de la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia en base al cambio en la estructura topológica de la red 20 eléctrica.

La modificación de la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia para determinar la matriz Z_{MD} de impedancia en tiempo real se realiza de la siguiente manera:

a. Se calcula la impedancia de carga equivalente de la carga eléctrica en cada uno de los buses 24, 26 segundo y tercero (mostrados en el bloque A de la unidad 34 de control central en la Figura 6). La impedancia de carga equivalente del k-ésimo bus es igual al fasor de voltaje del k-ésimo bus dividido por todos los fasores de corriente que fluyen desde el k-ésimo bus, y está determinada por:

$$Z_L[k] = \frac{U[k]}{\sum_{j \in k} I[j]} \quad [8]$$

Los fasores de voltaje y corriente se basan en los voltajes y corrientes medidos por las unidades 36 de control distribuidas y enviados a la unidad 34 de control central.

b. A continuación, la impedancia de carga equivalente del k-ésimo bus se añade a la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia como sigue (mostrado en el bloque B de la unidad 34 de control central en la Figura 6):

$$Z_{M0Nuevo}[i][j] = Z_{M0}[i][j] - \frac{Z_{M0}[i][k]Z_{M0}[k][j]}{Z_{M0}[k][k] + z_L[k]} \quad [9]$$

c. Si un enlace eléctrico se desconecta de la red 20 eléctrica, la información acerca de la desconexión del enlace eléctrico puede obtenerse a partir del estado del disyuntor o disyuntores correspondientes. Por ejemplo, si la ramificación entre los buses 22, 24 primero y segundo se desconecta (donde la impedancia de esta ramificación es Z_{T1}), dicha desconexión significa que un valor de impedancia equivalente de $-Z_{T1}$ se añade efectivamente entre los buses primero y segundo. Por lo tanto, si la ramificación entre los buses k-ésimo y n-ésimo es desconectada, la modificación de la matriz Z_{M0} de impedancia de referencia viene determinada por:

$$Z_{M0Nuevo}[i][j] = Z_{M0}[i][j] + \frac{(Z_{M0}[i][n] - Z_{M0}[i][k])(Z_{M0}[k][j] - Z_{M0}[n][j])}{Z_{M0}[k][k] + Z_{M0}[n][n] - 2Z_{M0}[k][n] - z_{kn}} \quad [10]$$

Después de la determinación en línea de la matriz Z_{MD} de impedancia en tiempo real, la unidad 34 de control central transmite, a continuación, la matriz Z_{MD} de impedancia en tiempo real a cada unidad 36 de control distribuida. Posteriormente, cada control distribuido calcula el voltaje E_{TH} fuente equivalente y la impedancia Z_{TH} equivalente vistos por el relé de protección contra sobrecorrientes correspondiente usando la matriz de impedancia en tiempo real y el voltaje y la corriente medidos del alimentador 30 correspondiente.

El cálculo del voltaje E_{TH} fuente equivalente y la impedancia Z_{TH} equivalente vistos por el relé de protección contra sobrecorrientes correspondiente puede realizarse usando dos procedimientos, mostrados a continuación.

Procedimiento I:

En primer lugar, la impedancia de carga equivalente del alimentador 30 viene determinada por:

$$Z_{\text{Alimentador}} = \frac{V_R}{I_R} \quad [11]$$

En la que V_R e I_R son el voltaje y la corriente medidos del alimentador 30 correspondiente.

A continuación, se añade un valor de $-Z_{\text{Alimentador}}$ a la matriz Z_{MD} de impedancia en tiempo real, que se recibió desde el control central, tal como se muestra:

$$Z_{MD_{\text{nuevo}}}[i][j] = Z_{MD}[i][j] - \frac{Z_{MD}[i][k]Z_{MD}[k][j]}{Z_{MD}[k][k] - z_{\text{Alimentador}}} \quad [12]$$

En [12], el alimentador 30 es conectado al k-ésimo bus.

Finalmente, el voltaje E_{TH} fuente equivalente y la impedancia Z_{TH} equivalente vienen determinados por:

$$Z_{TH} = Z_{MD_{\text{nuevo}}}[k][k] \quad [13]$$

$$E_{TH} = V_R + Z_{TH} I_R \quad [14]$$

Procedimiento II:

En primer lugar, la impedancia de carga equivalente del alimentador 30 se obtiene usando [11] del Procedimiento I anterior.

A continuación, una corriente de inyección equivalente en el k-ésimo bus viene determinada por:

$$I_{\text{Inyec}} = \frac{V_R}{Z_{MD}[k][k] - z_{\text{Alimentador}}} \quad [15]$$

En [15], el alimentador 30 está conectado al k-ésimo bus.

Finalmente, el voltaje E_{TH} fuente equivalente y la impedancia Z_{TH} equivalente vienen determinados por:

$$E_{TH} = Z_{MD} \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ -I_{\text{Inyec}} \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} + V_R \quad [16]$$

$$Z_{TH} = \frac{E_{TH} - V_R}{I_R} \quad [17]$$

- 5 La determinación del voltaje E_{TH} de fuente equivalente y la impedancia Z_{TH} equivalente vistos por el relé de protección contra sobrecorrientes correspondiente permite que cada unidad 36 de control distribuida calcule el nuevo criterio de protección del relé de protección contra sobrecorrientes correspondiente y, a continuación, actualice el criterio de protección para el relé de protección contra sobrecorrientes correspondiente.
- 10 De esta manera, el criterio de protección para cada relé de protección contra sobrecorrientes se adapta para corresponder a la nueva estructura topológica de la red 20 eléctrica, evitando de esta manera el mal funcionamiento o la pérdida de protección de los relés de protección contra sobrecorrientes.
- Se apreciará que la topología de la red 20 eléctrica de la Figura 1 se elige simplemente para ayudar a ilustrar el funcionamiento de la invención, y que la invención es aplicable a redes eléctricas con otras topologías.
- 15 Se apreciará también que los relés de protección contra sobrecorrientes de la red 20 eléctrica de la Figura 1 se eligen simplemente para ayudar a ilustrar el funcionamiento de la invención, y que la invención es aplicable a otros tipos de dispositivos de protección.
- 20 Por ejemplo, un dispositivo de protección determinado puede tener la forma de un relé de protección de distancia, donde el criterio de protección relevante puede ser o puede incluir un valor de ajuste de alcance del relé de protección de distancia. Después de un cambio en la estructura topológica de la red 20 eléctrica, el valor de ajuste del alcance puede actualizarse en base a la impedancia Z_{TH} equivalente vista por el relé de protección de distancia. Al actualizar el valor de ajuste de alcance, esto garantiza que la zona de protección de distancia deseada del relé de protección de distancia corresponde de manera precisa a la nueva estructura topológica de la red 20 eléctrica y, de esta manera, evita un alcance excesivo o un alcance insuficiente de la zona de protección de distancia del relé de protección de distancia. De lo contrario, si el valor de ajuste de alcance del relé de protección de distancia no se actualiza después de un cambio en la
- 25 estructura topológica de la red 20 eléctrica, la precisión de la operación de protección del relé de protección de distancia puede verse afectada negativamente por una expansión o reducción de la zona de protección de distancia real.

REIVINDICACIONES

1. Aparato de protección para proteger una red (20) eléctrica, comprendiendo el aparato de protección:

al menos un dispositivo de protección configurado para proteger la red (20) eléctrica contra un fallo en respuesta a o a cuando se cumple un criterio de protección respectivo; y

5 un controlador (34, 36) configurado para:

recibir información en tiempo real acerca de un cambio en la estructura topológica de la red (20) eléctrica;

10 realizar una determinación en línea de la matriz (Z_{MD}) de impedancia o de admitancia en tiempo real de la red (20) eléctrica en base al cambio en la estructura topológica de la red (20) eléctrica mediante la determinación de un valor de impedancia o de admitancia equivalente de al menos un componente desconectado desde o conectado a la red (20) eléctrica o uno con un aumento o disminución de potencia y combinar el valor de impedancia o admitancia o cada valor de impedancia o admitancia equivalente en la matriz (Z_{MO}) de impedancia o de admitancia de referencia mediante suma o resta para determinar la matriz (Z_{MD}) de impedancia o de admitancia en tiempo real; y

15 adaptar el criterio de protección o cada criterio de protección en base a la matriz (Z_{MD}) de impedancia o de admitancia en tiempo real.

2. Aparato de protección según la reivindicación 1, en el que el cambio en la estructura topológica de la red (20) eléctrica incluye al menos uno de entre:

una conexión de al menos una fuente (32) eléctrica a la red (20) eléctrica;

una desconexión de al menos una fuente (32) eléctrica desde la red (20) eléctrica;

20 una conexión de al menos una carga (22, 24, 26, 30) eléctrica a la red (20) eléctrica;

una desconexión de al menos una carga (22, 24, 26, 30) eléctrica desde la red (20) eléctrica;

una conexión de al menos un enlace eléctrico previamente abierto de la red (20) eléctrica;

una desconexión de al menos un enlace eléctrico previamente cerrado de la red (20) eléctrica;

25 un aumento o disminución de la potencia de al menos una carga (22, 24, 26, 30) eléctrica conectada o al menos una fuente (32) eléctrica conectada de la red (20) eléctrica.

3. Aparato de protección según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el controlador (34, 36) está configurado para adaptar el criterio de protección o cada criterio de protección mediante la determinación de un voltaje fuente equivalente y/o una impedancia o admitancia equivalente vistos por el dispositivo de protección o cada dispositivo de protección en base a la matriz (Z_{MD}) de impedancia o de admitancia en tiempo real, y mediante la determinación del criterio de protección o cada criterio de protección en base al voltaje fuente equivalente determinado y/o la impedancia o admitancia equivalente.

35 4. Aparato de protección según la reivindicación 3, en el que el controlador (34, 36) está configurado para adaptar el criterio de protección o cada criterio de protección mediante la determinación de un voltaje fuente equivalente y/o una impedancia o admitancia equivalente vistos por el dispositivo de protección o cada dispositivo de protección en base a la matriz (Z_{MD}) de impedancia o de admitancia en tiempo real y el voltaje y la corriente (V_R , I_R) medidos de una parte de la red (20) eléctrica correspondiente al dispositivo de protección o a cada dispositivo de protección, y mediante la determinación del criterio de protección o cada criterio de protección en base al voltaje fuente equivalente determinado y/o la impedancia o admitancia equivalente.

40 5. Aparato de protección según la reivindicación 3 o la reivindicación 4, en el que el voltaje fuente equivalente y la impedancia o admitancia equivalentes son respectivamente el voltaje (E_{TH}) fuente equivalente de Thevenin y la impedancia o admitancia (Z_{TH}) equivalente de Thevenin.

45 6. Aparato de protección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador (34, 36) está configurado para realizar la determinación en línea de la matriz (Z_{MD}) de impedancia o de admitancia en tiempo real de la red (20) eléctrica mediante la modificación de una matriz (Z_{MO}) de impedancia o de admitancia de referencia de la red (20) eléctrica en base al cambio en la estructura topológica de la red eléctrica para determinar la matriz (Z_{MD}) de impedancia o de admitancia en tiempo real.

7. Aparato de protección según la reivindicación 6, en el que la matriz (Z_{MO}) de impedancia o de admitancia de

referencia omite al menos una fuente (32) eléctrica de la red (20) eléctrica y/o al menos una carga (22, 24, 26, 30) eléctrica de la red (20) eléctrica.

8. Aparato de protección según la reivindicación 1, en el que el valor de la impedancia o admitancia equivalente o cada impedancia o admitancia equivalente se selecciona de entre un grupo que incluye:

- 5 una impedancia o admitancia de carga equivalente de una carga (22, 24, 26, 30) eléctrica de la red (20) eléctrica;
una impedancia o admitancia de fuente equivalente de una fuente (32) eléctrica de la red (20) eléctrica;
una impedancia o admitancia equivalente de un enlace eléctrico de la red (20) eléctrica.

9. Aparato de protección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el controlador (34, 36) incluye una primera unidad (34) de control y al menos una segunda unidad (36) de control, la primera unidad (34) de control en comunicación con la, o cada, segunda unidad (36) de control, la, o cada, segunda unidad (36) de control asociada con el dispositivo de protección respectivo, en el que la primera unidad (34) de control está configurada para: recibir información en tiempo real acerca de una parte de la red (20) eléctrica correspondiente al dispositivo de protección o a cada dispositivo de protección de la, o cada, segunda unidad (36) de control; y realizar la determinación en línea de la matriz (Z_{MD}) de impedancia o de admitancia en tiempo real en base a la información en tiempo real recibida desde la, o desde cada, segunda unidad (36) de control.

10. Aparato de protección según la reivindicación 7, en el que la primera unidad (34) de control está configurada para transmitir la matriz (Z_{MD}) de impedancia o de admitancia en tiempo real a la, o a cada, segunda unidad (36) de control, y la, o cada, segunda unidad (36) de control está configurada para adaptar el criterio de protección o cada criterio de protección en base a la matriz (Z_{MD}) de impedancia o de admitancia en tiempo real.

11. Aparato de protección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el dispositivo de protección o cada dispositivo de protección es o incluye un relé de protección contra sobrecorrientes, y el criterio de protección o cada criterio de protección es o incluye un nivel de fallo de un dispositivo de interrupción de circuito asociado con el relé de protección contra sobrecorrientes y/o un valor de ajuste del relé de protección contra sobrecorrientes, o en el que el dispositivo de protección o cada dispositivo de protección es o incluye un relé de protección de distancia, y el criterio de protección o cada criterio de protección es o incluye un valor de ajuste de alcance del relé de protección de distancia.

12. Procedimiento para operar un aparato de protección para proteger una red (20) eléctrica, comprendiendo el aparato de protección al menos un dispositivo de protección configurado para proteger la red (20) eléctrica contra un fallo en respuesta a o cuando se cumple un criterio de protección respectivo, incluyendo el procedimiento las etapas de:

recibir información en tiempo real acerca de un cambio en la estructura topológica de la red (20) eléctrica;

realizar una determinación en línea de la matriz (Z_{MD}) de impedancia o de admitancia en tiempo real de la red (20) eléctrica en base al cambio en la estructura topológica de la red (20) eléctrica mediante la determinación de un valor de impedancia o admitancia equivalente de al menos un componente desconectado desde o conectado a la red (20) eléctrica o uno con un aumento o disminución de la potencia y combinar el valor de impedancia o admitancia equivalente o cada valor de impedancia o admitancia equivalente a la matriz (Z_{M0}) de impedancia o de admitancia de referencia mediante suma o resta para determinar la matriz (Z_{MD}) de impedancia o de admitancia en tiempo real; y

adaptar el criterio de protección o cada criterio de protección en base a la matriz (Z_{MD}) de impedancia o de admitancia en tiempo real.

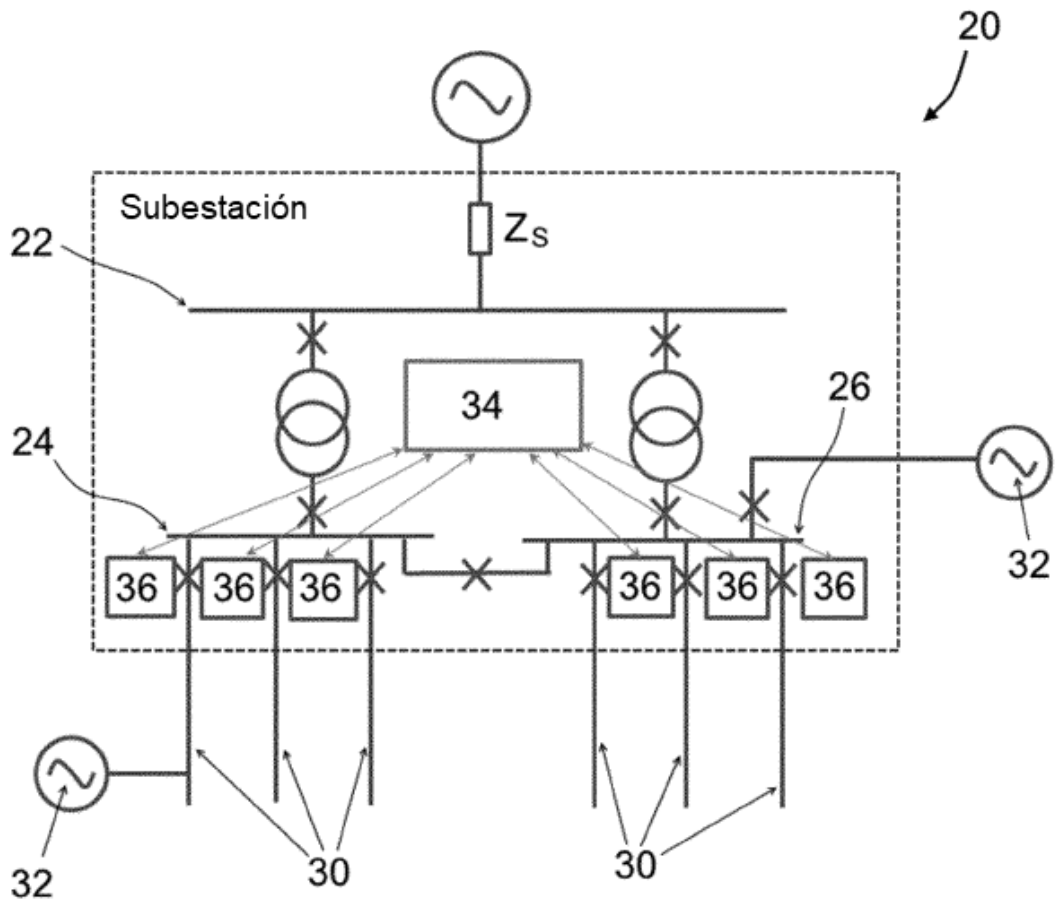


Figura 1

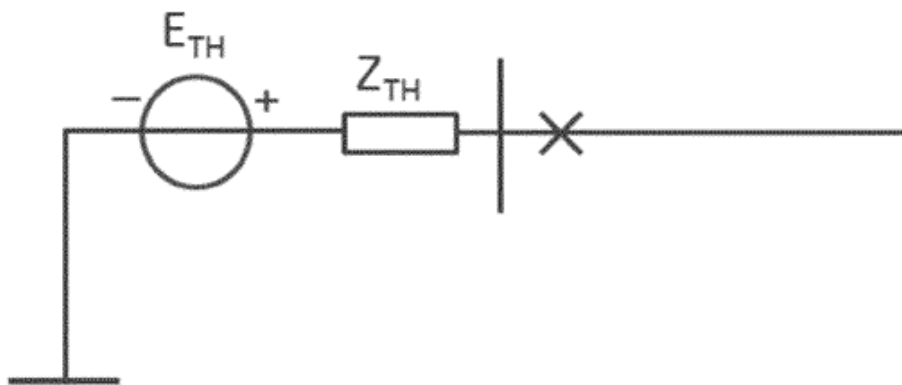


Figura 2

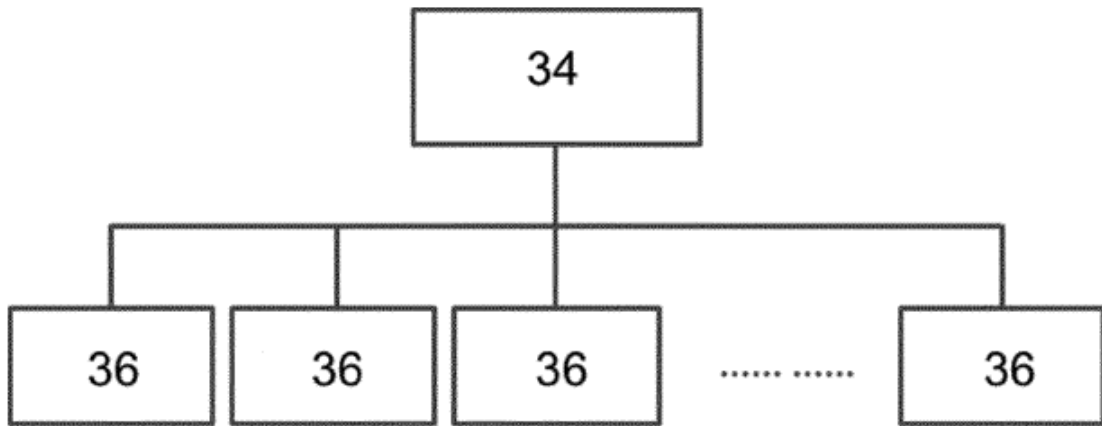


Figura 3

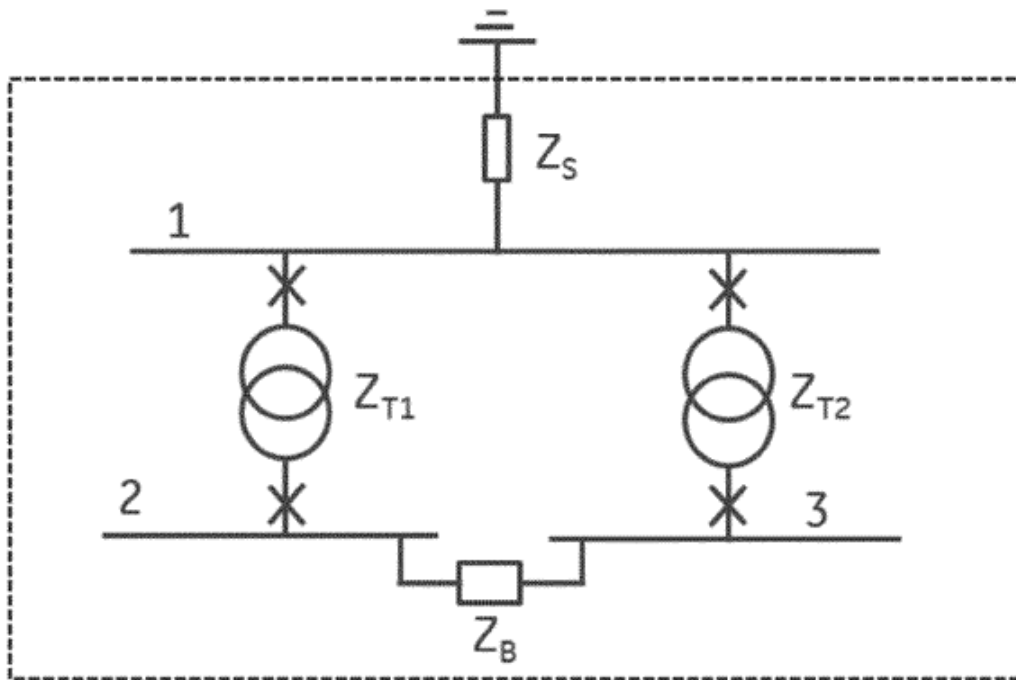


Figura 4

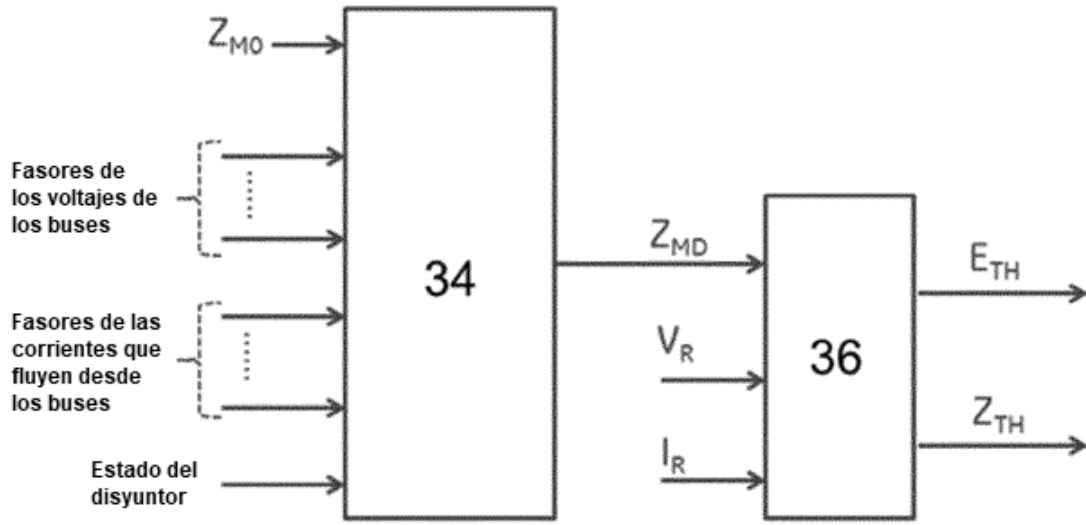


Figura 5

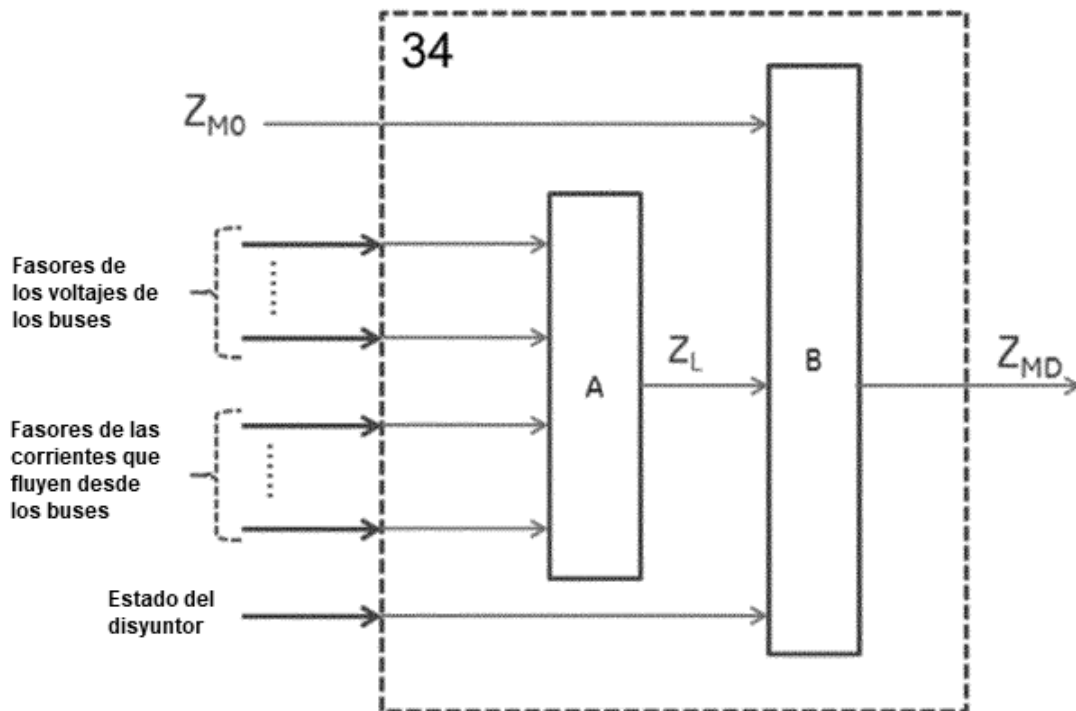


Figura 6