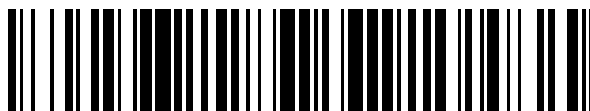


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 794 548**

51 Int. Cl.:

H02J 3/14 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.12.2016** E **16202531 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020** EP **3334000**

54 Título: **Un método para controlar una microrred de distribución de energía eléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.11.2020

73 Titular/es:

ABB S.P.A. (100.0%)
Via Vittor Pisani 16
20124 Milano, IT

72 Inventor/es:

FIDIGATTI, ANTONIO;
RAGAINI, ENRICO;
MONACHESI, FABIO;
D'AGOSTINO, FABIO y
SILVESTRO, FEDERICO

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 794 548 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 método para controlar una microrred de distribución de energía eléctrica

5 La presente invención se refiere al campo de las redes de distribución de energía eléctrica.

Más en particular, la presente invención se refiere a un método para controlar el funcionamiento de una microrred cuando esta última funciona desconectada de la red principal.

10 Como se conoce, en el campo de las redes de distribución de energía eléctrica, una microrred se suele entender como un sistema de distribución de energía eléctrica dispuesto y confinado en una zona claramente definida.

Además de una diversidad de cargas eléctricas, una microrred suele incluir varios generadores de energía eléctrica, por ejemplo, plantas de paneles solares, plantas de turbinas eólicas, sistemas combinados de calor y energía, sistemas de generación de energía marina, sistemas de generación de energía geotérmica o de biomasa, generación solar, generación de diésel, células de combustible y similares.

15 Con el fin de proporcionar energía eléctrica fiable y estable a cargas eléctricas críticas, una microrred puede incluir también una diversidad de unidades de almacenamiento de energía, por ejemplo, como bancos de condensadores, baterías y similares.

20 Por lo general, una microrred está conectada eléctricamente a una red principal, tal como una red de servicios públicos energía eléctrica.

25 Una microrred, cuando está conectada eléctricamente a la red principal, se suele referir como que está funcionando en un "modo conectado a la red".

Sin embargo, en respuesta a las necesidades del sistema o condiciones anormales (por ejemplo, fallos o cortes de energía en la red principal) o la decisión del usuario, una microrred puede desconectarse eléctricamente (por ejemplo, por medio de conmutadores de circuito adecuadamente dispuestos) de la red principal y funcionar en un así denominado "modo aislado".

30 Tal como se conoce, la frecuencia y la tensión de una microrred a menudo están sujetas a elementos transitorios pertinentes cuando esta última funciona en modo aislado. Este inconveniente por lo general ocurre cuando las microrredes dependen de la energía eléctrica suministrada por las redes principales más grandes para garantizar parámetros operativos adecuadamente equilibrados.

Dichos elementos transitorios de tensión y frecuencia pueden conducir rápidamente (por ejemplo, en décimas de ms) a fenómenos de supresión de suministro de energía eléctrica o anomalías operativas de las cargas eléctricas.

40 Además, cuando una microrred se desconecta de la red principal, la energía eléctrica generada por los generadores instalados en la microrred puede no ser suficiente para el suministro de energía a todas las cargas eléctricas conectadas.

45 Por ambas razones, se han desarrollado varios métodos para controlar las microrredes.

Las solicitudes de patente US2012283888A1 y US2012283890A1 dan a conocer métodos para controlar una microrred que funciona en modo aislado de conformidad con un plan de generación de energía que se llevará a cabo en un tiempo de transición dado después de la desconexión eléctrica desde la red principal. Dicho plan de generación de energía puede actualizarse según las necesidades.

50 La solicitud de patente WO2015003729A1 da a conocer un método para controlar una microrred durante una transición operativa desde un modo conectado a la red a un modo aislado. ZHANG HAOTIAN ET AL da a conocer: "Una nueva estrategia de desbordamiento de carga para sistemas de distribución con generaciones distribuidas", IEEE PES INNOVATIVE SMART GRID TECHNOLOGIES, EUROPE, IEEE, 12 de octubre de 2014, páginas 1-6; DOI: 0.1109/ISGTEUROPE.2014.7028953. El documento da a conocer que, para equilibrar la generación y la demanda en todo momento, el desbordamiento de carga puede necesitar aplicarse a un sistema de distribución o a una microrred que está desconectada de la red principal. Sin embargo, es difícil determinar la cantidad precisa de carga que se reducirá en un sistema real, ya que la frecuencia cambia en todo momento. Además de lo que antecede, los factores económicos que incluyen el índice de fiabilidad y la disposición de los consumidores deben tenerse en cuenta al tomar la decisión, excepto para garantizar la estabilidad del sistema. Este documento propone una nueva estrategia de reducción de la carga en caso de su desbordamiento considerando la estabilidad energética con economía en la reducción de la carga para un sistema de distribución con generaciones distribuidas tales como CHP, pequeños paneles eólicos y solares. Se adopta la estrategia propuesta clasificando la carga en grupos pesados y ligeros, la clasificación se basa en la disposición para pagar, el umbral de frecuencia y la tasa de cambio de frecuencia (RoCoF).

El documento difiere de la reivindicación 1 en que no da a conocer como:

- determinar (11) si la desconexión de dicha microrred desde dicha red principal se debe a un fallo en dicha red principal (200) al observar magnitudes eléctricas en dicho nodo de acoplamiento eléctrico (POC) en el instante de desconexión (ts);
- determinar (24) por medio de dicho mapa de consumo de energía eléctrica (M) un valor mínimo de desbordamiento del flujo de potencia (ΔP_{LS_MIN}) indicativo de una cantidad mínima de energía eléctrica consumida por dichas cargas desconectables (DL_i , DL_N), que ha de ser eliminada para obtener dicho valor objetivo de desbordamiento del flujo de potencia (ΔP_{LS}^T) estando dicho valor mínimo de desbordamiento del flujo de potencia en correspondencia a un valor de prioridad del desbordamiento (i_s) en dicho mapa de consumo de energía eléctrica (M);

CHANDRASENA RUWAN P S ET AL: "Funcionamiento y control de microrredes trifásicas que consisten en DERs monofásicos", 2013 IEEE 8ª CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS INDUSTRIALES Y DE INFORMACIÓN, IEEE, 17 de diciembre de 2013, páginas 599-604; ISBN: 978-1-4799-0908-7, da a conocer: Se investiga el funcionamiento autónomo de una microrred trifásica (MG) que consta de recursos de energía distribuida (DER) monofásica distribuida arbitrariamente entre las tres fases. Debido a la conexión aleatoria de cargas monofásicas y DER a diferentes fases, es muy probable que una sola fase tenga más generación mientras que otra fase tenga más demanda. Esto se convierte en un problema difícil durante el funcionamiento autónomo. Este documento demuestra cómo los DERs monofásicos en una fase pueden compartir la demanda de carga en otras fases. Se llevan a cabo varios estudios de caso utilizando PSCAD/EMTDC para demostrar la eficacia de la estrategia de control y gestión de energía propuesta para convertidores DER monofásicos distribuidos de manera desigual entre las tres fases en la MG.

Los métodos disponibles actualmente para controlar las microrredes que funcionan desconectadas de la red principal suelen ser complicados y difíciles de llevar a la práctica.

Algunos métodos disponibles actualmente no proporcionan soluciones de control sólidas para estabilizar el funcionamiento de una microrred.

Otros métodos disponibles a menudo conducen a desconexiones innecesarias de las cargas eléctricas, reduciendo así las capacidades operativas de la microrred más de lo requerido por sus condiciones reales de funcionamiento.

En el mercado, todavía se produce la demanda de soluciones de control para microrredes que funcionan desconectadas de la red principal, lo que puede proporcionar una gestión sólida y eficaz del consumo de energía eléctrica por las cargas eléctricas de la microrred, asegurando así un equilibrio de flujo de potencia adecuado con las fuentes de generación de energía eléctrica disponibles y, al mismo tiempo, evitar o reducir las intervenciones de desbordamiento excesivo de dichas cargas eléctricas.

Para responder a esta necesidad, la presente invención proporciona un método para controlar una microrred de distribución de energía eléctrica, de conformidad con la siguiente reivindicación 1 y las reivindicaciones dependientes relacionadas.

En otro aspecto, la presente invención se refiere a un programa informático, de conformidad con la siguiente reivindicación 9.

En otro aspecto, la presente invención se refiere a un dispositivo informatizado, de conformidad con la siguiente reivindicación 10.

En otro aspecto, la presente invención se refiere a un aparato o dispositivo de control, de conformidad con la siguiente reivindicación 11.

Las características y ventajas de la presente invención surgirán más claramente de la descripción de las formas de realización preferidas, pero no exclusivas, ilustradas únicamente a modo de ejemplo y sin limitación en los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 ilustra de manera esquemática una microrred de distribución de energía eléctrica y su aparato de control, de conformidad con la invención;

La Figura 2-5 son diagramas que ilustran de manera esquemática el método, de conformidad con la invención. Con referencia a las figuras mencionadas, la presente invención se refiere a un método 1 para controlar el funcionamiento de una microrred 100 de distribución de energía eléctrica de baja o media tensión.

Dentro del marco de la presente invención, el término "baja tensión" se refiere a tensiones operativas de hasta 1,2 kV CA y 1,5 kV CC, mientras que el término "tensión media" se refiere a tensiones operativas superiores a 1,2 kV CA y 1,5 kV CC hasta varias decenas de kV, p. ej., hasta 72 kV CA y 100 kV CC.

5 La microrred 100 puede ser una red de distribución de energía eléctrica para edificios o plantas industriales, comerciales y residenciales. Como ejemplo, puede caracterizarse por un consumo de energía medio comprendido en el margen entre 0,05 MW y 10 MW.

10 La microrred 100 comprende un nodo de acoplamiento eléctrico POC (Punto de Acoplamiento), en donde dicha microrred se puede conectar o desconectar eléctricamente desde una red principal de distribución de energía eléctrica 200.

15 La red principal 200 puede ser una red extendida de distribución de energía eléctrica, tal como, por ejemplo, la red de servicios públicos de energía eléctrica.

Por lo general, la microrred 100 está conectada eléctricamente desde la red principal 200 en el nodo de acoplamiento eléctrico POC.

20 Sin embargo, en algunas circunstancias (por ejemplo, en caso de cortes de energía o fallos), la microrred 100 puede desconectarse eléctricamente desde la red principal 200 en el nodo de acoplamiento eléctrico POC.

25 La microrred 100 comprende, de manera preferible, al menos un primer dispositivo de conmutación S_1 (por ejemplo, un disyuntor), cuyo funcionamiento se puede controlar de una manera conocida por medio de señales de control adecuadas.

30 Cuando el dispositivo de conmutación S_1 se encuentra en un estado cerrado (ON), la microrred 100 está conectada eléctricamente a la red principal 200 y funciona de manera conveniente de conformidad con un modo conectado a la red.

35 Cuando el dispositivo de conmutación S_1 se encuentra en un estado abierto (OFF), la microrred 100 está desconectada eléctricamente desde la red principal 200 en el nodo de acoplamiento eléctrico POC y puede funcionar en un modo aislado, tal como se describe a continuación.

40 La microrred 100 comprende una o más cargas eléctricas $DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$, cada una de las cuales consume una cantidad correspondiente de energía eléctrica proporcionada por la microrred 100. En aras de mayor claridad, se especifica aquí que, dentro del marco de la presente invención, el término "consumo" debe entenderse en términos de consumo de energía medio, consumo de energía instantáneo, consumo de energía u otras magnitudes físicas equivalentes a estas últimas. También se especifica que el término "flujo de potencia" puede referirse a "flujo de potencia activa", "flujo de potencia reactiva" o "flujo de potencia aparente" según la necesidad específica.

45 Las cargas eléctricas $DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$ pueden ser de cualquier tipo, según las necesidades. En general, una carga eléctrica $DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$ puede ser cualquier dispositivo adaptado para consumir una cantidad de energía eléctrica en funcionamiento.

50 Tal como se muestra en la Figura 1, las cargas eléctricas $DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$ pueden disponerse en diferentes ramas de la red, de conformidad con una configuración de niveles múltiples. Sin embargo, son posibles diferentes configuraciones.

En principio, las cargas eléctricas $DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$ pueden conectarse o desconectarse eléctricamente de la microrred 100, según las necesidades.

55 De manera conveniente, la microrred 100 comprende uno o más segundos dispositivos de conmutación S_2 para desconectar o conectar eléctricamente una o más cargas eléctricas o una o más ramificaciones de la red desde o con las partes restantes de la microrred.

60 Los segundos dispositivos de conmutación S_2 pueden incluir, por ejemplo, disyuntores, contactores, interfaces de E/S, conmutadores, desconectores-conmutadores, interfaces de comunicación u otros dispositivos similares. El funcionamiento de los dispositivos de conmutación S_2 puede controlarse de una manera conocida por medio de señales de control adecuadas.

Las cargas eléctricas de la microrred 100 incluyen una o más cargas desconectables DL_1, \dots, DL_N , que se pueden desconectar eléctricamente de la microrred (en el funcionamiento real de esta última) desactivándolas o controlando los segundos dispositivos de conmutación S_2 correspondientes.

Las cargas eléctricas de la microrred 100 también pueden incluir una o más cargas no desconectables UL_1, \dots, UL_M , que no pueden desconectarse eléctricamente (en el funcionamiento real de esta última) desde la microrred desactivándolas o controlando los segundos dispositivos de conmutación S_2 correspondientes.

5 En aras de una mayor claridad, es importante especificar que una carga eléctrica dada $DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$ de la microrred 100 se considera como "desconectable" o "no desconectable" dependiendo de la operación prevista para dicha carga eléctrica en la microrred 100 y no dependiendo de su estructura o disposición específica o posibles modos operativos.

10 Como ejemplo, una carga eléctrica dada (por ejemplo, un motor eléctrico), que en principio podría estar desconectada eléctricamente desde la microrred 100 (por ejemplo, haciendo funcionar un segundo dispositivo de conmutación S_2 adecuado), se considera como "no desconectable" si no es posible intervenir en ella durante el funcionamiento de la microrred 100, por ejemplo, debido a su papel o función crítica en la microrred 100.

15 Como otro ejemplo, una carga eléctrica dada, que está conectada eléctricamente de manera permanente con las partes restantes de la microrred 100, puede considerarse como "desconectable" si se puede activar/desactivar según las necesidades, sin requisitos específicos, durante el funcionamiento de la microrred 100.

20 De manera conveniente, las cargas desconectables DL_1, \dots, DL_N de la microrred 100 se asignan con un nivel de prioridad, que es un valor numérico (índice) indicativo del orden con el que dichas cargas desconectables han de desconectarse desde la microrred 100, cuando sea necesario hacerlo.

25 De manera conveniente, el nivel de prioridad de cada carga desconectable DL_1, \dots, DL_N puede ser definido por el usuario o puede asignarse dinámicamente mediante un algoritmo adecuado utilizando el consumo de energía eléctrica (nominal o medido) de dichas cargas como índice de referencia para clasificar las cargas desconectables, p. ej. de menor a mayor consumo de energía o de conformidad con otras lógicas de clasificación. Las cargas desconectables DL_1, \dots, DL_N que tienen el mismo nivel de prioridad también se pueden ordenar dependiendo de su consumo de energía eléctrica.

30 La microrred 100 comprende una fuente de energía eléctrica GEN que incluye uno o más generadores de energía eléctrica (no ilustrados).

Dichos generadores de energía eléctrica pueden ser de cualquier tipo y estar dispuestos de conformidad con las necesidades.

35 Como ejemplo, pueden comprender plantas de paneles solares, plantas de turbinas eólicas, sistemas combinados de calor y energía, sistemas de generación de energía marina, generación solar, generación de diésel, sistemas de generación de energía geotérmica o de biomasa, células de combustible y similares.

40 La fuente de energía eléctrica GEN puede comprender también una o más unidades de almacenamiento de energía, que pueden ser de cualquier tipo y estar dispuestas según las necesidades. A modo de ejemplo, pueden comprender bancos de condensadores, baterías y similares.

45 De manera ventajosa, la microrred 100 comprende uno o más terceros dispositivos de conmutación S_3 para desconectar o conectar eléctricamente dichos generadores de energía eléctrica (y posiblemente dichas unidades de almacenamiento de energía) desde o con las partes restantes de la microrred.

Los terceros dispositivos de conmutación S_3 pueden incluir, por ejemplo, disyuntores, contactores, desconectores de conmutadores u otros dispositivos similares.

50 El método 1, de conformidad con la invención, es adecuado para gestionar el funcionamiento de la microrred 100, cuando esta última funciona desconectada desde la red principal.

55 El método 1, según la invención, se lleva a cabo de manera conveniente en respuesta a la desconexión eléctrica de la microrred 100 desde la red principal 200 en el nodo de acoplamiento eléctrico POC en un instante de desconexión t_s dado.

Con el fin de detectar si la microrred 100 está sujeta a un evento de funcionamiento aislado, el estado de funcionamiento del dispositivo de conmutación S_1 puede controlarse de manera conveniente.

60 Con independencia de las razones reales que hacen que intervenga el dispositivo de conmutación S_1 (por ejemplo, necesidades del sistema o fallos o la acción del usuario), la iniciación operativa del dispositivo de conmutación S_1 en el estado OFF constituye la condición necesaria y suficiente para causar el funcionamiento aislado de la microrred 100.

65

Tan pronto como el dispositivo de conmutación 1 se inicia en un estado OFF en el instante de desconexión t_s , el método 1 de la invención se ejecuta de manera conveniente para controlar el funcionamiento de la microrred 100.

5 Según la invención, el método 1 comprende la etapa 11 de determinar si la desconexión de la microrred 100 desde la red principal 200 se debe a un fallo en la red principal 200, más en particular a un fallo en la red principal 200 que se encuentra cerca del nodo de acoplamiento común POC.

10 De manera preferible, la etapa de determinación 11 del método 1 consiste en observar el comportamiento de algunas magnitudes eléctricas detectadas en el nodo de acoplamiento eléctrico POC en el instante de desconexión t_s .

De forma preferida, la etapa de determinación 11 del método 1 comprende la etapa de adquirir los primeros datos D_1 relacionados con el estado de funcionamiento de la microrred 100 en el instante de desconexión t_s .

15 De manera preferible, los primeros datos D_1 comprenden valores de detección indicativos del comportamiento de magnitudes eléctricas en el nodo de acoplamiento eléctrico POC en el instante de desconexión t_s .

20 De forma preferida, los valores de detección incluidos en los primeros datos D_1 son proporcionados por uno o más dispositivos de detección 400 (por ejemplo, sensores de tensión, sensores de corriente y similares) dispuestos para detectar dichas magnitudes eléctricas en el nodo de acoplamiento eléctrico POC.

Los dispositivos de detección 400 pueden ser de tipo conocido y no se describen con más detalles por razones de brevedad.

25 De manera preferible, los datos de detección incluidos en los primeros datos D_1 comprenden un valor de detección de tensión de red V_{GRID} indicativo de la tensión de red de la microrred 100 en el nodo de acoplamiento eléctrico POC en el instante de desconexión t_s .

30 De forma preferida, la etapa de determinación 11 del método 1 comprende la etapa de comparar dicho valor de detección de tensión de red (incluido en los primeros datos D_1) con un valor umbral de tensión V_{TH} . Si dicho valor de detección de tensión de red es mayor o igual al valor umbral de tensión V_{TH} ($V_{GRID} \geq V_{TH}$), la desconexión de la microrred 100 desde la red principal 200 no se debe a un fallo en la red principal 200.

35 Si el valor de detección de tensión de red V_{GRID} es menor que el valor umbral de tensión V_{TH} ($V_{GRID} < V_{TH}$), la desconexión de la microrred 100 desde la red principal 200 se debe a un fallo en la red principal 200 (próximo al nodo de acoplamiento común POC).

40 Las etapas descritas con anterioridad para verificar la tensión de la red V_{GRID} en el nodo de acoplamiento eléctrico POC en el instante de desconexión t_s , encuentran una base técnica en la observación de que un nodo eléctrico de una red de distribución de energía eléctrica suele estar sujeto a fenómenos de baja tensión en caso de fallos (por ejemplo, cortocircuitos) que se producen en partes de la red.

45 Por lo tanto, la presencia de un fenómeno de baja tensión en el nodo de acoplamiento eléctrico POC, en el instante de desconexión t_s , constituye un signo inequívoco de un fallo que ocurre cerca del nodo de acoplamiento eléctrico POC, lo que provoca el evento de desconexión de la microrred 100.

De manera conveniente, la etapa de determinación 11 del método 1 comprende también observar la corriente de red en el nodo de acoplamiento común POC en el instante de desconexión t_s .

50 De manera preferible, los datos de detección incluidos en los primeros datos D_1 comprenden valores de detección de corriente de red I_{GRID} indicativos de la corriente de red I_{GRID} de la microrred 100 en el nodo de acoplamiento eléctrico POC en el instante de desconexión t_s .

55 De forma preferida, la etapa de determinación 11 del método 1 comprende la etapa de verificar la dirección de la corriente de la red que circula a través del nodo de acoplamiento eléctrico POC en el instante de desconexión t_s basado en dichos valores de detección de corriente de la red I_{GRID} .

60 Se ha encontrado que las etapas descritas con anterioridad de verificar la dirección de la corriente de la red en el nodo de acoplamiento eléctrico POC en el instante de desconexión t_s , tal como se mencionó con anterioridad, proporciona información adicional para determinar si ocurrió un fallo en la red principal 200 o si la microrred absorbía energía eléctrica activa desde la red principal.

De manera conveniente, la etapa de determinación 11 del método 1 consiste también en verificar información adicional además de los valores de detección indicativos de las magnitudes eléctricas descritas con anterioridad.

65 De manera preferible, los primeros datos D_1 comprenden información de registro indicativa del funcionamiento del dispositivo de conmutación S_1 . Dicha información de registro puede incluir, por ejemplo, información relacionada con

controles de retransmisión, controles de enclavamiento, controles manuales, señales de estado y similares recibidos por el dispositivo de conmutación S_1 .

5 De forma preferida, la etapa de determinación 11 del método 1 comprende la etapa de verificar dicha información de registro.

10 Se ha encontrado que el análisis de dicha información de registro es una solución efectiva para determinar si la desconexión de la microrred 100 desde la red principal 200 no se debe a un fallo en la red principal 200 sino a otros motivos (por ejemplo, debido a controles manuales, del sistema o de enclavamiento recibidos por el dispositivo de conmutación S_1 , cortes de suministro de energía de la red principal 200 y similares).

15 De conformidad con la invención, si la desconexión de la microrred 100 desde la red principal 200 no se debe a un fallo en dicha red principal, el método 1 proporciona, además, la comprobación (etapa 11B) de si la microrred 100 estaba absorbiendo energía eléctrica activa desde la red principal 200 en el instante de desconexión t_s (por lo tanto, funcionando de manera global como una carga eléctrica).

20 Si la microrred 100 estaba absorbiendo energía eléctrica activa desde la red principal 200 en el instante de desconexión t_s , el método 1 comprende la etapa 12 de ejecutar un procedimiento de desbordamiento de carga 2 para desconectar de manera selectiva una o más de las cargas desconectables DL_1, \dots, DL_N de la microrred 100 en respuesta al evento de funcionamiento aislado en el instante de desconexión t_s .

25 De hecho, un flujo de energía activa desde la red principal 200 a la microrred 100, en el instante de desconexión t_s , es indicativo de la circunstancia de que la microrred 100 no pudo alimentar adecuadamente todas sus cargas eléctricas en dicho instante de desconexión. Esto significa que una reducción de la carga de dichas cargas eléctricas ha de realizarse aun cuando no estén presentes fallos importantes en la red principal.

Si la microrred 100 no estaba absorbiendo energía eléctrica activa desde la red principal 200 en el instante de desconexión t_s , el método 1 finaliza.

30 De hecho, un flujo de energía activa desde la microrred 100 a la red principal 299 en el instante de desconexión t_s es indicativo de la circunstancia de que la microrred 100 pudo alimentar adecuadamente todas sus cargas eléctricas en dicho instante de desconexión y fue capaz de proporcionar energía eléctrica a la red principal 200 (funcionando de manera global como un generador eléctrico).

35 El procedimiento de desbordamiento de carga 2 se describirá con más detalle a continuación. De conformidad con la invención, si la desconexión de la microrred 100 desde la red principal 200 se debe a un fallo en dicha red principal, el método 1 comprende la etapa 13 de determinar si una caída de la frecuencia de la microrred 100 está en curso después de la desconexión de la microrred 100 desde la red principal 200 en el instante de desconexión t_s .

40 De manera preferible, la etapa 13 de determinar si una caída de la frecuencia de la microrred 100 está en curso comprende las etapas de adquirir los segundos datos D_2 relacionados con la frecuencia de dicha microrred.

Los dispositivos de detección 400 u otros dispositivos de detección de tipo conocido pueden proporcionar los segundos datos D_2 .

45 De forma preferida, los segundos datos D_2 incluyen un primer valor de detección de frecuencia F_1 , que es indicativo de la frecuencia de la microrred 100, y un segundo valor de detección de frecuencia F_2 , que es indicativo de la variación de frecuencia de dicha microrred durante una determinada cantidad de tiempo (en la práctica de la derivada de la frecuencia de dicha microrred).

50 De manera preferible, la etapa 13 de determinar si una caída de la frecuencia de la microrred 100 está en curso comprende la etapa de comparar el primer valor de detección de frecuencia F_1 con un primer valor umbral de frecuencia F_{TH1} y la etapa de comparar el segundo valor de detección de frecuencia F_2 con un segundo valor umbral de frecuencia F_{TH2} .

55 Si los valores de detección de frecuencia F_1 son más bajos que los valores umbral respectivos F_{TH1} y los valores de detección de frecuencia F_2 son más altos que los valores umbral respectivos F_{TH2} ($F_1 < F_{TH1}$ Y $F_2 > F_{TH2}$), está en curso una caída de la frecuencia de la microrred 100 en respuesta al evento de funcionamiento aislado de dicha microrred en el instante de desconexión t_s .

60 La presencia de una caída de frecuencia en la microrred 100 que funciona desconectada de la red principal 100 significa que no existe ningún equilibrio entre la energía eléctrica proporcionada por la fuente de energía eléctrica GEN y la energía eléctrica consumida por las cargas eléctricas $DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$.

65 En este caso, el método 1 comprende la etapa 14 de ejecutar el procedimiento de desbordamiento de carga 2 para desconectar, de manera selectiva, una o más de las cargas desconectables DL_1, \dots, DL_N . Por otro lado, la ausencia

de una caída de frecuencia en la microrred 100 significa que existe un equilibrio entre la energía eléctrica proporcionada por la fuente de energía eléctrica GEN y la energía eléctrica consumida por las cargas eléctricas DL₁, ..., DL_N, UL₁, ..., UL_M.

5 En este caso, el método 1 está concluido en principio.

Por supuesto, las condiciones operativas de la microrred 100 pueden cambiar en el tiempo, por ejemplo, debido a un aumento (por cualquier motivo) del número de cargas eléctricas conectadas eléctricamente en la microrred 100.

10 La etapa 13 de determinar si una caída de la frecuencia de la microrred 100 está en curso se ejecuta de manera preferible cíclicamente mientras que la microrred 100 funciona desconectada de la red principal 200.

De manera preferible, si se determina una caída de frecuencia en la microrred 100 en cualquier momento cuando la microrred 100 todavía funciona en un modo aislado, el método 1 estipula la ejecución del procedimiento de desbordamiento de carga 2 (de conformidad con la etapa 14 descrito con anterioridad).

15 Las etapas descritas con anterioridad del método 1 encuentran una base técnica en la observación de que la microrred 100, que funciona en un modo aislado, puede modelarse de conformidad con el sistema de control representado en la Figura 5.

20 La siguiente función de transferencia puede modelar la relación entre la variación de la frecuencia Δf y la variación de la energía eléctrica disponible ΔP , que sigue al funcionamiento aislado de la microrred 100 en el instante de desconexión t_s .

$$\frac{\Delta f(s)}{\Delta P(s)} = - \frac{1}{G_f(s) + \rho + s \cdot 2H}$$

25 donde Δf es la variación de frecuencia en la microrred en comparación con las condiciones iniciales, ΔP es la variación de la energía eléctrica disponible (utilizando el convenio de signo de carga), $\Delta \epsilon_f$ es una variación de error de frecuencia, Δf_{ts} es una variación de error de frecuencia en las condiciones iniciales, G_f es una función de transferencia que representa la fuente de energía eléctrica en la microrred, ρ es un factor de atenuación de la microrred y H es un factor de inercia de la microrred.

30 La respuesta de la microrred 100 en términos de variación de frecuencia en el instante de desconexión t_s puede representarse mediante la siguiente relación:

$$\left. \frac{df}{dt} \right|_{t=t_s} = - \frac{\Delta P}{2H}$$

35 Por lo tanto, la variación de frecuencia puede considerarse (en una aproximación no estricta) como proporcionalmente dependiente de la variación de la energía eléctrica disponible en la microrred después de la desconexión de la microrred 100.

40 Los inventores han observado que si un fenómeno de baja tensión está presente en el nodo de acoplamiento eléctrico POC en el instante de desconexión t_s (es decir, si el aislamiento de la microrred 100 se debe a un fallo en la red principal 200 próxima al nodo de acoplamiento eléctrico POC), cualquier posible variación de frecuencia Δf evoluciona en el tiempo de conformidad con un comportamiento dinámico relativamente lento (varias decenas de ms).

45 Por lo tanto, es posible verificar si una caída de frecuencia está realmente en curso después del evento de funcionamiento aislado en el instante de desconexión t_s . Si hay una caída de frecuencia en curso, el método 1 proporciona la ejecución del procedimiento de desbordamiento de carga 2 con el fin de proteger la microrred 100.

50 Si no hay fenómenos de baja tensión en el nodo de acoplamiento eléctrico POC en el instante de desconexión t_s , no existe tiempo alguno para verificar si realmente ocurre una caída de frecuencia ya que cualquier posible variación de frecuencia Δf evoluciona con bastante rapidez en el tiempo (pocas decenas de ms) debido al hecho de que no existe un efecto de "relajación" de baja tensión.

55 En este caso, el método 1 proporciona la ejecución inmediata ("ejecución a ciegas") del procedimiento de desbordamiento de carga 2 para proteger la microrred 100.

El procedimiento de desbordamiento de carga 2 del método 1 se describe a continuación con más detalle.

El procedimiento de desbordamiento de carga 2 comprende una etapa 21 de calcular un valor de desconexión de flujo de potencia ΔP_L indicativo de una cantidad de energía eléctrica, que ya no está disponible para las cargas eléctricas $DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$ de la microrred 100 después la desconexión de esta última desde la red principal 200.

5 La variación de flujo de potencia total debida a la desconexión ΔP_L puede calcularse en función de la siguiente relación:

$$\Delta P_L = P_I + P_G - P_{IR}$$

10 donde P_I es un valor de consumo de energía indicativo de la energía eléctrica proporcionada por la red principal 200 a la microrred 100 antes del funcionamiento aislado de esta última, P_G es un valor de generación de energía indicativo de la energía eléctrica proporcionada por los sistemas de generación de energía (p. ej. una planta fotovoltaica) incluidos en la fuente de energía eléctrica GEN, P_{IR} es un valor de reserva de energía indicativo de la energía eléctrica proporcionada por una reserva de energía primaria, p. ej. unidades de almacenamiento de energía eléctrica incluidas en la fuente de energía eléctrica GEN u otra similar.

15 De manera preferible, el valor de consumo de energía P_I y el valor de almacenamiento de energía P_{IR} son valores detectados que pueden medirse por medio de dispositivos de detección de tipo conocido, adecuadamente dispuestos. De manera preferible, el valor de generación de energía P_G es un valor calculado que, en el caso de una planta de generación de energía fotovoltaica ($P_G(t) = PPV(t)$), puede calcularse a través de un modelo matemático dado por la siguiente relación:

$$PPV(t) = P_N \cdot \frac{W_d}{W_0}$$

20 donde P_N es la energía nominal proporcionada por las plantas fotovoltaicas, W_d es un valor de radiación directa en condiciones de cielo despejado y W_0 es un valor de radiación estándar (por ejemplo, igual a 1000 W/m^2). El valor de radiación directa W_d (en condiciones de cielo despejado) puede calcularse utilizando una función trigonométrica adecuada, que combina varias magnitudes geográficas y temporales:

$$W_d = W_d(\beta, \psi, \psi_s, \chi, d, t)$$

30 donde β es el ángulo solar, ψ es el acimut solar, ψ_s es el acimut de la planta fotovoltaica, χ es la inclinación fotovoltaica y d es el día del año y t es la hora del día.

El valor de radiación directa W_d (en condiciones de cielo despejado) puede corregirse adecuadamente por factores de corrección climática para modelar la planta fotovoltaica que funciona en cualquier condición de cielo.

35 Como alternativa, el valor de generación de energía PPV puede ser un valor de detección medido en el campo o un valor de estimación calculado por medio de modelos matemáticos de estimación adecuados.

40 El procedimiento de desbordamiento de carga 2 comprende una etapa 22 de calcular un valor objetivo de desbordamiento del flujo de potencia ΔP_{LS}^T indicativo de una cantidad objetivo de energía eléctrica consumida por las cargas eléctricas $DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$, que tiene que reducirse para interrumpir la caída de frecuencia en curso.

45 De manera conveniente, el valor objetivo de desbordamiento del flujo de potencia ΔP_{LS}^T se calcula en base al valor de desconexión de flujo de potencia calculado ΔP_L por medio de un algoritmo adecuado, de modo que:

$$\Delta P_{LS}^T = f(\Delta P_L)$$

50 El procedimiento de desbordamiento de carga 2 comprende una etapa 22 de calcular un valor objetivo de desvanecimiento de energía ΔP_{LS}^T indicativo de una cantidad objetivo de energía eléctrica consumida por las cargas eléctricas $DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$, que debe eliminarse para detener la caída de frecuencia en curso.

De manera conveniente, el valor objetivo de desbordamiento del flujo de potencia ΔP_{LS}^T se calcula en base al valor de desconexión energética calculado ΔP_L por medio de un algoritmo adecuado, de modo que:

$$55 \quad \Delta P_{LS}^T = f(\Delta P_L)$$

Como ejemplo, la función $f(\Delta P_L)$ puede calcularse mediante una red neuronal artificial, entrenada con un conjunto de resultados de simulación o mediciones reales.

60 Como otro ejemplo, la función $f(\Delta P_L)$ puede ser una función lineal que tiene la siguiente forma:

$$f(\Delta P_L) = C(\theta) \cdot \Delta P_L$$

5 donde $C(\theta)$ es una función polinómica de los parámetros θ_i recopilados en $\theta = [\theta_1, \theta_2, \theta_3 \dots \theta_m]$, que incluye parámetros técnicos de la red (generadores, cables, cargas, etc.) y el parámetro de configuración del algoritmo que incluye el máximo, la desviación de frecuencia, el tiempo de recuperación, la tasa de cambio de los requisitos de frecuencia, los requisitos de estabilidad y similares.

10 Por ejemplo, $C(\theta)$ puede tener la siguiente expresión:

$$C(\theta) = \sum_{\substack{j_1, j_2, \dots, j_m = 0, 1, \dots, v \\ j_1 + j_2 + \dots + j_m = v}} c_{(j_1, j_2, \dots, j_m)} \theta_1^{j_1} \cdot \theta_2^{j_2} \cdot \dots \cdot \theta_m^{j_m}$$

donde j_i son números enteros, $c_{(j_1, j_2, \dots, j_m)}$ son coeficientes reales, m es el número de parámetros, v es el orden del polinomio.

15 El procedimiento de desbordamiento de carga 2 comprende una etapa 23 de cálculo de un mapa de consumo de energía eléctrica M , en donde una cantidad acumulativa ΔP_{LS} de energía eléctrica, que es consumida por las cargas desconectables DL_1, \dots, DL_N , se expresa como una función de un nivel de prioridad i asignado a dichas cargas desconectables.

20 Un ejemplo del mapa de consumo de energía eléctrica M se muestra en la Figura 4.

Los valores del eje de ordenadas $\Delta P_{LS1}, \dots, \Delta P_{LSk}$ representan magnitudes acumuladas de energía eléctrica consumida por las cargas desconectables DL_1, \dots, DL_N que tienen un nivel de prioridad i igual o inferior a los valores correspondientes del eje x en el eje de abscisas.

25 Un valor genérico ΔP_{LSi} relacionado con un valor de prioridad correspondiente i viene dado por la siguiente relación:

$$\Delta P_{LSi} = \sum_j P_{j,i}$$

30 donde i es la prioridad, j es el índice de las cargas desconectables, $P_{j,i}$ es el consumo de energía de la carga desconectable j que tiene prioridad i .

35 En una perspectiva de desbordamiento de carga, el valor genérico anterior ΔP_{LSi} relacionado con un valor de prioridad correspondiente i representa la cantidad acumulada de energía eléctrica que puede reducirse desconectando las cargas desconectables DL_1, \dots, DL_N , que tienen un nivel de prioridad i igual o inferior a los valores correspondientes del eje x en el eje de abscisas, desde la microrred 100.

40 En general, el valor acumulado ΔP_{LSk} , que representa la cantidad total de energía eléctrica consumida por las cargas desconectables DL_1, \dots, DL_k , viene dada por la siguiente relación:

$$\Delta P_{LSk} = \sum_{i=1}^k \Delta P_{LSi}$$

45 En una perspectiva de desbordamiento de carga, el valor acumulado anterior ΔP_{LSk} representa la cantidad total de energía eléctrica que puede reducirse desconectando las cargas desconectables que tienen un nivel de prioridad i menor o igual que k , DL_1, \dots, DL_k de la microrred 100.

50 En general, en el mapa de consumo de energía eléctrica M , el valor objetivo de desbordamiento de flujo de potencia ΔP_{LS}^T calculado con anterioridad cae en el eje de ordenadas entre dos valores acumulativos posteriores $\Delta P_{LSi}, \Delta P_{LSi+1}$ con $1 \leq i \leq N$, donde i es el nivel de prioridad.

En el ejemplo de la Figura 4, el valor objetivo de desbordamiento del flujo de potencia ΔP_{LS}^T cae en el eje de ordenadas entre dos valores acumulativos posteriores $\Delta P_{LS2}, \Delta P_{LS3}$.

55 El procedimiento de desbordamiento de carga 2 comprende una etapa 24 para determinar, por medio del mapa de consumo de energía eléctrica M , un valor mínimo de desbordamiento del flujo de potencia ΔP_{LS_MIN} indicativo de una

cantidad mínima de energía eléctrica consumida por las cargas desconectables DL_1, \dots, DL_N , que ha de reducirse para obtener el valor objetivo del desbordamiento del flujo de potencia calculado anterior ΔP_{LS}^T .

5 De manera conveniente, el valor mínimo de desbordamiento del flujo de potencia mencionado ΔP_{LS_MIN} es uno de los valores acumulativos $\Delta P_{LS1}, \dots, \Delta P_{LSN}$ en el mapa de consumo de energía eléctrica M.

El valor mínimo de desbordamiento del flujo de potencia mencionado ΔP_{LS_MIN} corresponde a un valor de prioridad de desbordamiento i en el mapa de consumo de energía eléctrica M.

10 El valor de prioridad de desbordamiento i_S es, por lo tanto, indicativo del nivel de prioridad mínimo para el que las cargas desconectables DL_1, \dots, DL_N han de reducirse para obtener el valor objetivo de desbordamiento del flujo de potencia calculado con anterioridad ΔP_{LS}^T .

15 En el ejemplo que se muestra en la Figura 4, el valor mínimo de desbordamiento del flujo de potencia mencionado ΔP_{LS_MIN} es igual al valor acumulado ΔP_{LS3} en el mapa de consumo de energía eléctrica M. El valor de prioridad de desbordamiento $i_S=3$ es el valor de prioridad correspondiente al valor acumulado $\Delta P_{LS_MIN} = \Delta P_{LS3}$.

20 De manera preferible, el valor mínimo de desbordamiento del flujo de potencia ΔP_{LS_MIN} se determina como la cantidad acumulativa mínima ΔP_{LS} , en el mapa de consumo de energía eléctrica M, para el cual la siguiente relación es verdadera:

$$\Delta P_{LS} \geq m * \Delta P_{LS}^T$$

25 donde ΔP_{LS}^T es el valor objetivo del desbordamiento del flujo de potencia calculado y m es un número comprendido entre 0 y 1 (es decir, $0 \leq m \leq 1$).

El procedimiento de desbordamiento de carga 2 comprende una etapa 25 de proporcionar las primeras señales de control CON_1 para desconectar eléctricamente las cargas desconectables DL_1, \dots, DL_N de la microrred 100, que se asignan con un nivel de prioridad i menor o igual que el valor de prioridad de desbordamiento determinado i_S .

30 De manera conveniente, las señales de control CON_1 se proporcionan a los dispositivos de conmutación S_2 (por ejemplo, disyuntores, contactores, interfaces E-S, interfaces de comunicación y similares) correspondientes a las cargas desconectables DL_1, \dots, DL_N para desconectarse de las otras partes de la microrred 100.

35 El procedimiento de desbordamiento de carga 2 comprende una etapa 26 para determinar si una caída de la frecuencia de la microrred 100 todavía está en curso después de la provisión de las primeras señales de control CON_1 .

40 La etapa de determinación 26 del procedimiento de desbordamiento de carga 2 es particularmente importante puesto que permite verificar si la intervención del desbordamiento en una o más cargas desconectables ha sido efectiva para restablecer un equilibrio entre la energía eléctrica proporcionada por la fuente de energía eléctrica GEN y la energía eléctrica consumida por las cargas eléctricas $DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$.

De manera preferible, la etapa 26 de determinar si una caída de la frecuencia de la microrred 100 todavía está en curso comprende las etapas de adquirir terceros datos D_3 relacionados con la frecuencia de dicha microrred.

45 Los dispositivos de detección 400 u otros dispositivos de detección de tipo conocido pueden proporcionar los terceros datos D_3 .

50 De manera preferible, los terceros datos D_3 incluyen un tercer valor de detección de frecuencia F_3 , que es indicativo de la frecuencia de la microrred 100.

De manera preferible, la etapa 26 de determinar si una caída de la frecuencia de la microrred 100 todavía está en curso comprende la etapa de comparar el tercer valor de detección de frecuencia F_3 con un tercer valor umbral de frecuencia F_{TH3} .

55 Si el tercer valor de detección de frecuencia F_3 es menor que el valor umbral respectivo F_{TH3} , $\{F_3 < F_{TH3}\}$, una caída de la frecuencia de la microrred 100 todavía está en curso en respuesta a la provisión de las señales de control CON_1 .

De manera preferible, la etapa 26 de determinar si una caída de la frecuencia de la microrred 100 todavía está en curso comprende las etapas de adquirir cuartos datos D_4 relacionados con la frecuencia de dicha microrred.

60 Los cuartos datos D_4 pueden ser proporcionados por los dispositivos de detección 400 u otros dispositivos de detección de tipo conocido.

De manera preferible, los cuartos datos D_4 incluyen un cuarto valor de detección de frecuencia F_4 , que es indicativo de la variación de frecuencia de dicha microrred en el transcurso del tiempo (en la práctica, la derivada de la frecuencia de dicha microrred).

5 De manera preferible, la etapa 26 de determinar si una caída de la frecuencia de la microrred 100 todavía está en curso comprende la etapa de comparar el cuarto valor de detección de frecuencia F_4 con un cuarto valor umbral de frecuencia F_{TH4} .

10 Si los cuartos valores de detección de la frecuencia F_4 son inferiores al valor umbral 4 respectivo F_{TH4} , $\{F_4 < F_{TH4}\}$, una caída de la frecuencia de la microrred 100 todavía está en curso en respuesta a la provisión de las señales de control CON_1 .

15 La presencia de una caída de frecuencia en la microrred 100, después de la provisión de las señales de control CON_1 , significa que la intervención de desbordamiento proporcionada por las etapas anteriores 21-25 del procedimiento de desbordamiento de carga 2, no ha sido efectiva y que todavía no hay equilibrio entre la energía eléctrica proporcionada por la fuente de energía eléctrica GEN y la energía eléctrica consumida por las cargas eléctricas $DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$.

20 En este caso, el procedimiento de desbordamiento de carga 2 comprende la etapa 27 de proporcionar segundas señales de control CON_2 para desconectar eléctricamente todas las cargas desconectables DL_1, \dots, DL_N de la microrred 100.

25 De manera conveniente, las señales de control CON_2 se proporcionan a los dispositivos de conmutación S_2 (p. ej., disyuntores, contactores, interfaces E-S, interfaces de comunicación y similares) correspondientes a todas las cargas desconectables restantes DL_1, \dots, DL_N para desconectar estas últimas desde las otras partes de la microrred 100.

30 La etapa 27 mencionada con anterioridad del procedimiento de desbordamiento de carga 2 encuentra su fundamento técnico en la circunstancia de que, si una caída de frecuencia aún está en curso, no hay tiempo para repetir las etapas 22-25 del procedimiento de desbordamiento de carga 2 puesto que la frecuencia está cambiando con bastante rapidez en el transcurso del tiempo. Dicha etapa del procedimiento de desbordamiento de carga 2 asegura así un control sólido del consumo de la microrred 100 para proteger este último.

35 Si una caída de frecuencia en la microrred 100 ya no está en curso después de la provisión de las señales de control CON_1 , esto significa que la intervención de desbordamiento proporcionada por las etapas anteriores 21-25 del procedimiento de desbordamiento de carga 2 ha sido efectiva, y que existe un equilibrio entre la energía eléctrica proporcionada por la fuente de energía eléctrica GEN y la energía eléctrica consumida por las cargas eléctricas $DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$.

40 En este caso, el procedimiento de desbordamiento de carga 2 (y el método 1) se concluye en principio. Por supuesto, las condiciones operativas de la microrred 100 pueden cambiar en transcurso del tiempo, por ejemplo, debido a un aumento (por cualquier motivo) del número de cargas eléctricas conectadas eléctricamente en la microrred 100.

45 La etapa 26 de determinar si una caída de la frecuencia de la microrred 100 está en curso se ejecuta de manera cíclica preferible mientras la microrred 100 funciona desconectada de la red principal.

Si se determina una caída de frecuencia en la microrred en cualquier momento cuando la microrred 100 funciona en un modo aislado, el método 1 proporciona la ejecución de la etapa de desbordamiento 27 descrita con anterioridad.

50 El método 1, según la invención, debe ponerse en práctica particularmente mediante un dispositivo informatizado 300.

En un aspecto adicional, la presente invención se refiere así a un programa informático 350 que comprende instrucciones de software para realizar el método, de conformidad con la invención.

55 El programa informático 350 se almacena o es almacenable en un soporte de almacenamiento, por ejemplo, en una memoria del dispositivo informatizado 300 (Figura 1).

60 En otro aspecto, la presente invención se refiere, además, a un dispositivo informatizado 300 que comprende recursos informatizados (por ejemplo, uno o más microprocesadores) configurados para ejecutar instrucciones de software para realizar el método, de conformidad con la invención.

El dispositivo informatizado 300 puede ser un dispositivo informatizado instalado en el campo o en una ubicación distante con respecto a la microrred de distribución de energía eléctrica 100.

65 A modo de ejemplo, el dispositivo informatizado 300 puede ser una unidad de control y protección instalada a bordo de un dispositivo de conmutación, o un relé digital para redes de distribución de energía eléctrica o un controlador.

Un tiempo de procesamiento normal para la ejecución del método según la invención puede ser de aproximadamente 20 ms.

5 En otro aspecto, la presente invención se refiere también a un aparato o dispositivo de control que incluye recursos de hardware y software configurados para poner en práctica el método 1, de conformidad con la invención.

Como otro ejemplo, el aparato o dispositivo de control puede comprender un dispositivo informatizado 300, provisto de recursos de procesamiento, configurado para ejecutar instrucciones de software para realizar el método, de conformidad con la invención.

10 El aparato o dispositivo de control puede estar dispuesto de conformidad con diversas arquitecturas de control, por ejemplo, arquitecturas centralizadas o arquitecturas multinivel.

15 El método, de conformidad con la presente invención, es bastante eficaz en la gestión del consumo de energía de una microrred, cuando esta última funciona desconectada de la red principal, para mantener un equilibrio entre la demanda de energía de las cargas eléctricas y la disponibilidad de energía proporcionada por la fuente de energía eléctrica de la microrred.

20 Lo que antecede garantiza un control sólido del funcionamiento de la microrred y, al mismo tiempo, permite evitar o reducir las intervenciones innecesarias de sobrecarga en las cargas eléctricas.

25 El método, de conformidad con la presente invención, está particularmente adaptado para ser puesto en práctica por diversas arquitecturas de control, de conformidad con las necesidades, por ejemplo, arquitecturas de control centralizadas, multinivel o distribuidas.

El método, según la presente invención, está particularmente adaptado para ponerse en práctica utilizando los recursos de hardware y software que ya están instalados en el campo para gestionar el funcionamiento de la red de distribución de energía eléctrica.

30 El método, según la invención, está particularmente adaptado para ponerse en práctica en redes de distribución de energía habilitadas digitalmente (redes inteligentes, microrredes y similares). El método, según la invención, es de puesta en práctica relativamente fácil y rentable en el campo.

35

REIVINDICACIONES

1. Método (1) para controlar una microrred de distribución de energía eléctrica (100), comprendiendo dicha microrred:

- 5 - un nodo de acoplamiento eléctrico (POC), en donde dicha microrred se puede conectar o desconectar eléctricamente desde una red principal de distribución de energía eléctrica (200);
- 10 - una o más cargas eléctricas ($DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$), cada una de las cuales consume una cantidad correspondiente de energía eléctrica proporcionada por dicha microrred, incluyendo dichas cargas eléctricas una o más cargas desconectables (DL_1, \dots, DL_N) que puede desconectarse eléctricamente de dicha microrred;
- 15 - una fuente de energía eléctrica (GEN) que incluye uno o más generadores de energía eléctrica; en donde dicho método es ejecutable en respuesta a una desconexión eléctrica de dicha microrred desde dicha red principal en dicho nodo de acoplamiento eléctrico (POC) en un instante de desconexión (ts);

comprendiendo dicho método las siguientes etapas:

- 20 - determinar (11) si la desconexión de dicha microrred desde dicha red principal se debe a un fallo en dicha red principal (200) al observar magnitudes eléctricas en dicho nodo de acoplamiento eléctrico (POC) en el instante de desconexión (ts);
- 25 - si la desconexión de dicha microrred desde dicha red principal no se debe a un fallo en dicha red principal (200) y dicha microrred estaba absorbiendo energía eléctrica activa desde dicha red principal en dicho instante de desconexión (ts), ejecutar (12) un procedimiento de desbordamiento de carga (2) para desconectar de manera selectiva una o más cargas desconectables (DL_1, \dots, DL_N) desde dicha microrred;
- 30 - si la desconexión de dicha microrred desde dicha red principal se debe a un fallo en dicha red principal (200), determinar (13) si una caída de una frecuencia de dicha microrred está en curso después de la desconexión de dicha microrred;
- si una caída de frecuencia está en curso después de la desconexión de dicha microrred desde dicha red principal, ejecutar (14) dicho procedimiento de desbordamiento de carga (2);

35 en donde dicho procedimiento de desbordamiento de carga (2) comprende las siguientes etapas:

- 40 - calcular (21) un valor de desconexión de flujo de potencia (DP_L) indicativo de una cantidad de energía eléctrica, que ya no está disponible para las cargas eléctricas ($DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$) de dicha microrred después de la desconexión de dicha microrred desde dicha red principal;
- calcular (22) un valor objetivo de desbordamiento de flujo de potencia (DP_{LS}^T) indicativo de una cantidad objetivo de energía eléctrica consumida por dichas cargas eléctricas ($DL_1, \dots, DL_N, UL_1, \dots, UL_M$), que debe eliminarse;
- 45 - calcular (23) un mapa de consumo de energía eléctrica (M), en donde una cantidad acumulativa (DP_{LS}) de energía eléctrica consumida por dichas cargas desconectables (DL_1, \dots, DL_N) se expresa como una función de un nivel de prioridad (i) asignado a dichas cargas desconectables;
- 50 - determinar (24) mediante dicho mapa de consumo de energía eléctrica (M) un valor mínimo de desbordamiento del flujo de potencia (DP_{LS_MIN}) indicativo de una cantidad mínima de energía eléctrica consumida por dichas cargas desconectables (DL_1, \dots, DL_N), que tiene que ser eliminada para obtener dicho valor objetivo de desbordamiento del flujo de potencia (DP_{LS}^T), siendo dicho valor mínimo de desbordamiento del flujo de potencia correspondiente a un valor de prioridad de desbordamiento del flujo de potencia (i_s) en dicho mapa de consumo de energía eléctrica (M);
- 55 - proporcionar (25) primeras señales de control (CON_1) para desconectar eléctricamente las cargas desconectables (DL_1, \dots, DL_N) asignadas con un nivel de prioridad (i) menor o igual que dicho valor de prioridad de desbordamiento (i_s);
- 60 - determinar (26) si una caída de la frecuencia de dicha microrred todavía está en curso después de la provisión de dichas primeras señales de control (CON_1);
- si una caída de la frecuencia todavía está en curso, proporcionar (27) segundas señales de control (CON_2) para desconectar eléctricamente todas las cargas desconectables (DL_1, \dots, DL_N) de dicha microrred.

2. Método, según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha etapa (11) de determinar si la desconexión de dicha microrred (100) desde dicha red principal (200) se debe a un fallo en dicha red principal comprende las siguientes etapas:

- 5 - adquirir los primeros datos (D_1) relacionados con el estado de funcionamiento de dicha microrred en dicho instante de desconexión (ts), incluyendo dichos primeros datos valores de detección indicativos del comportamiento de magnitudes eléctricas (V_{GRID} , I_{GRID}) en dicho nodo de acoplamiento eléctrico (POC) en dicho instante de desconexión (ts);
- 10 - comparar un valor de detección de tensión de red (V_{GRID}) incluido en dichos primeros datos (D_1), que es indicativo de una tensión de red de dicha microrred en dicho nodo de acoplamiento eléctrico (POC) con un valor umbral de tensión (V_{TH}).

15 3. Método, según la reivindicación 2, caracterizado porque dicha etapa (11) de determinar si la desconexión de dicha microrred (100) desde dicha red principal (200) se debe a un fallo en dicha red principal comprende la etapa de comprobar la dirección de una corriente de red (I_{GRID}) que circula a través de dicho nodo de acoplamiento eléctrico (POC) en dicho instante de desconexión (ts) basado en valores de detección de corriente de red indicativos de dicha corriente de red (I_{GRID}), estando dichos valores de detección de corriente incluidos en dichos primeros datos (D_1).

20 4. Método, según la reivindicación 2 o 3, caracterizado porque dicha etapa (11) de determinar si la desconexión de dicha microrred (100) desde dicha red principal (200) se debe a un fallo en dicha red principal comprende la etapa de verificar la información de registro indicativa del funcionamiento de un dispositivo de conmutación (S_1), siendo dicho dispositivo de conmutación capaz de desconectar eléctricamente dicha microrred desde dicha red principal en dicho nodo de acoplamiento eléctrico (POC), estando dicha información de registro incluida en dichos primeros datos (D_1).

25 5. Método, según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicha etapa de determinar si una caída de la frecuencia de dicha microrred está en curso después de la desconexión de dicha microrred (100) desde dicha red principal (200) comprende las siguientes etapas:

- 30 - adquirir segundos datos (D_2) relacionados con la frecuencia de dicha microrred, incluyendo dichos terceros datos un primer valor de detección de frecuencia (F_1), que es indicativo de la frecuencia de dicha microrred, y un segundo valor de detección de frecuencia (F_2), que es indicativo de la variación de frecuencia de dicha microrred en el transcurso del tiempo;
- 35 - comparar dicho primer valor de detección de frecuencia (F_1) con un primer valor umbral de frecuencia (F_{TH1});
- comparar dicho segundo valor de detección de frecuencia (F_2) con un segundo valor umbral de frecuencia (F_{TH2}).

40 6. Método, según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicha etapa de determinar si una caída de la frecuencia de dicha microrred está todavía en curso después de la provisión de dichas primeras señales de control (CON_1) comprende las siguientes etapas:

- 45 - adquirir terceros datos (D_3) relacionados con la frecuencia de dicha microrred, incluyendo dichos terceros datos un tercer valor de detección de frecuencia (F_3), que es indicativo de la frecuencia de dicha microrred;
- 50 - comparar dicho tercer valor de detección de frecuencia (F_3) con un tercer valor umbral de frecuencia (F_{TH3}).

55 7. Método, según la reivindicación 6, caracterizado porque dicha etapa de determinar si una caída de la frecuencia de dicha microrred está todavía en curso después de la provisión de dichas primeras señales de control (CON_1) comprende las siguientes etapas:

- adquirir cuartos datos (D_4) relacionados con la frecuencia de dicha microrred, incluyendo dichos cuartos datos un cuarto valor de detección de frecuencia (F_4), que es indicativo de la variación de la frecuencia de dicha microrred en el transcurso del tiempo;
- 60 - comparar dicho cuarto valor de detección de frecuencia (F_4) con un cuarto valor umbral de frecuencia (F_{TH4}).

8. Método, según una o más de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicho valor mínimo de desbordamiento del flujo de potencia (DP_{LS_MIN}) se determina como la cantidad acumulativa mínima (DP_{LS}) de energía eléctrica en dicho mapa de consumo de energía eléctrica (M) para el cual la siguiente relación es verdadera:

$$DP_{LS} \geq m * DP_{LS}^T$$

65 donde DP_{LS}^T se denomina valor objetivo de desbordamiento del flujo de potencia y m es un número predeterminado para el cual $0 \leq m \leq 1$.

9. Un programa informático (350), que se almacena o es almacenable en un soporte de almacenamiento, caracterizado porque comprende instrucciones de software para poner en práctica un método (1), de conformidad con una o más de las reivindicaciones anteriores.
- 5
10. Un dispositivo informatizado (300) caracterizado porque comprende recursos de procesamiento de datos configurados para ejecutar instrucciones de software para poner en práctica un método (1), de conformidad con una o más de las reivindicaciones 1 a 8.
- 10
11. Un aparato o dispositivo de control para una red de distribución de energía eléctrica (100) caracterizado porque comprende un dispositivo informatizado (300) de conformidad con la reivindicación 10.

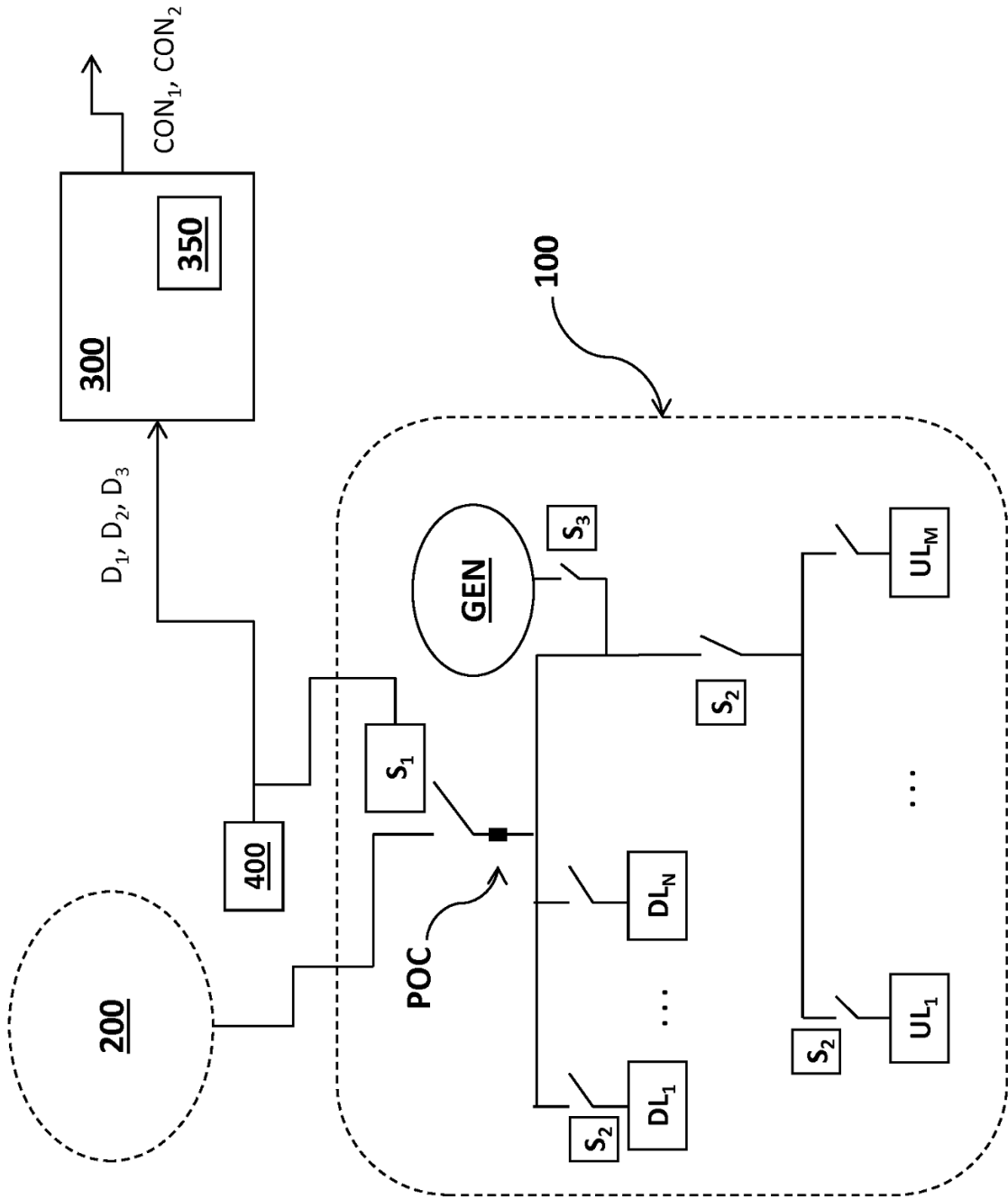


FIG. 1

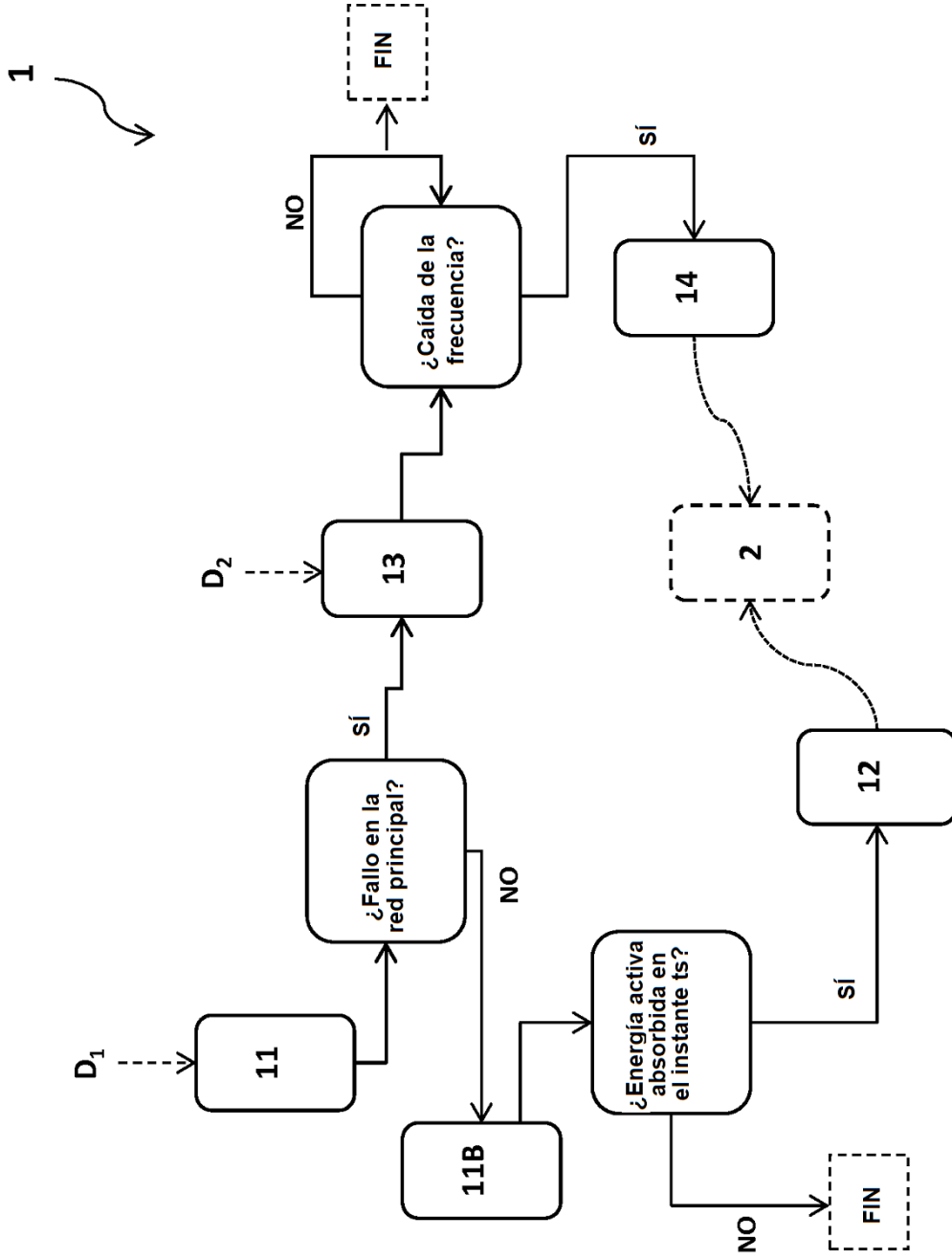


FIG. 2

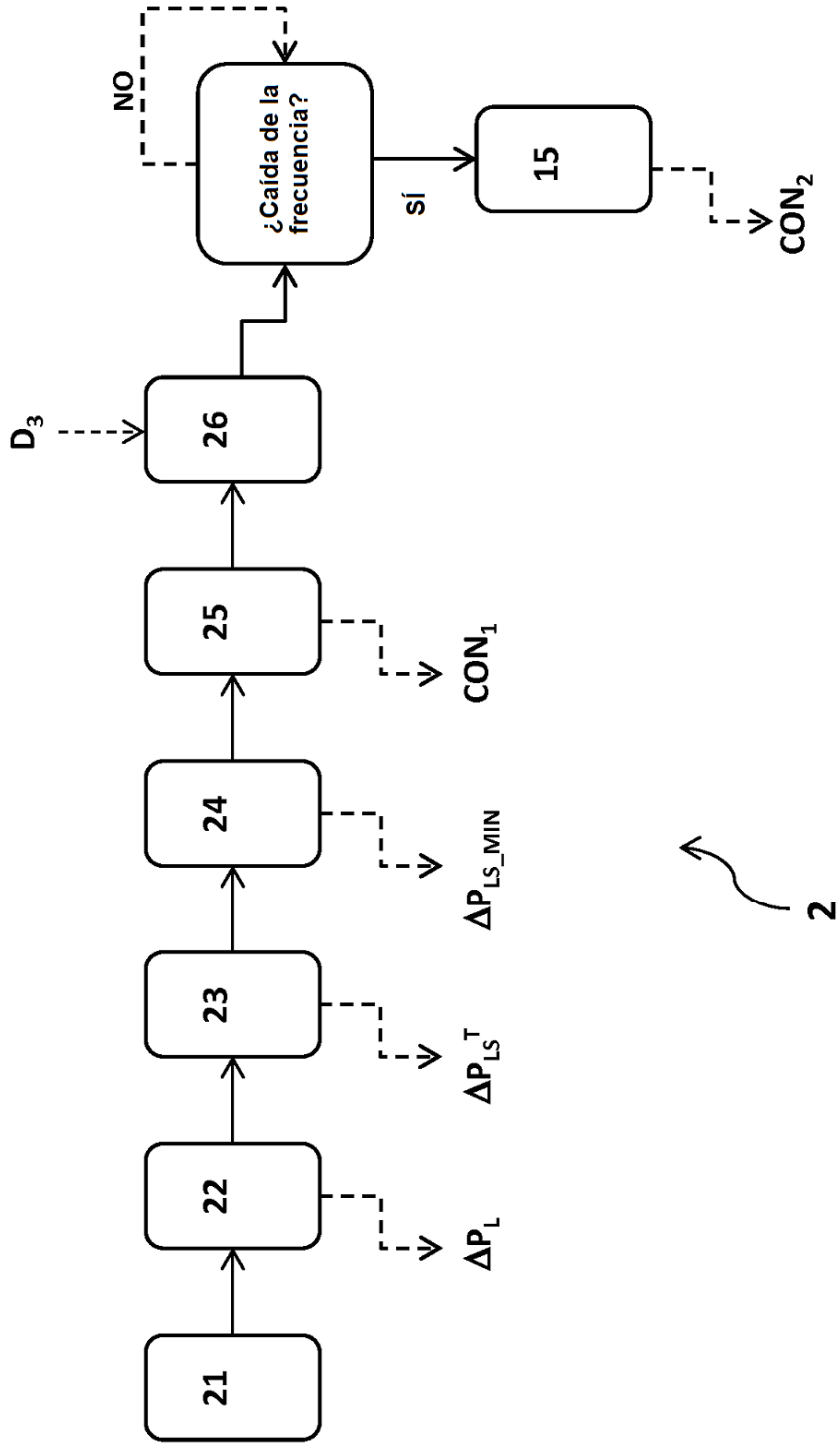


FIG. 3

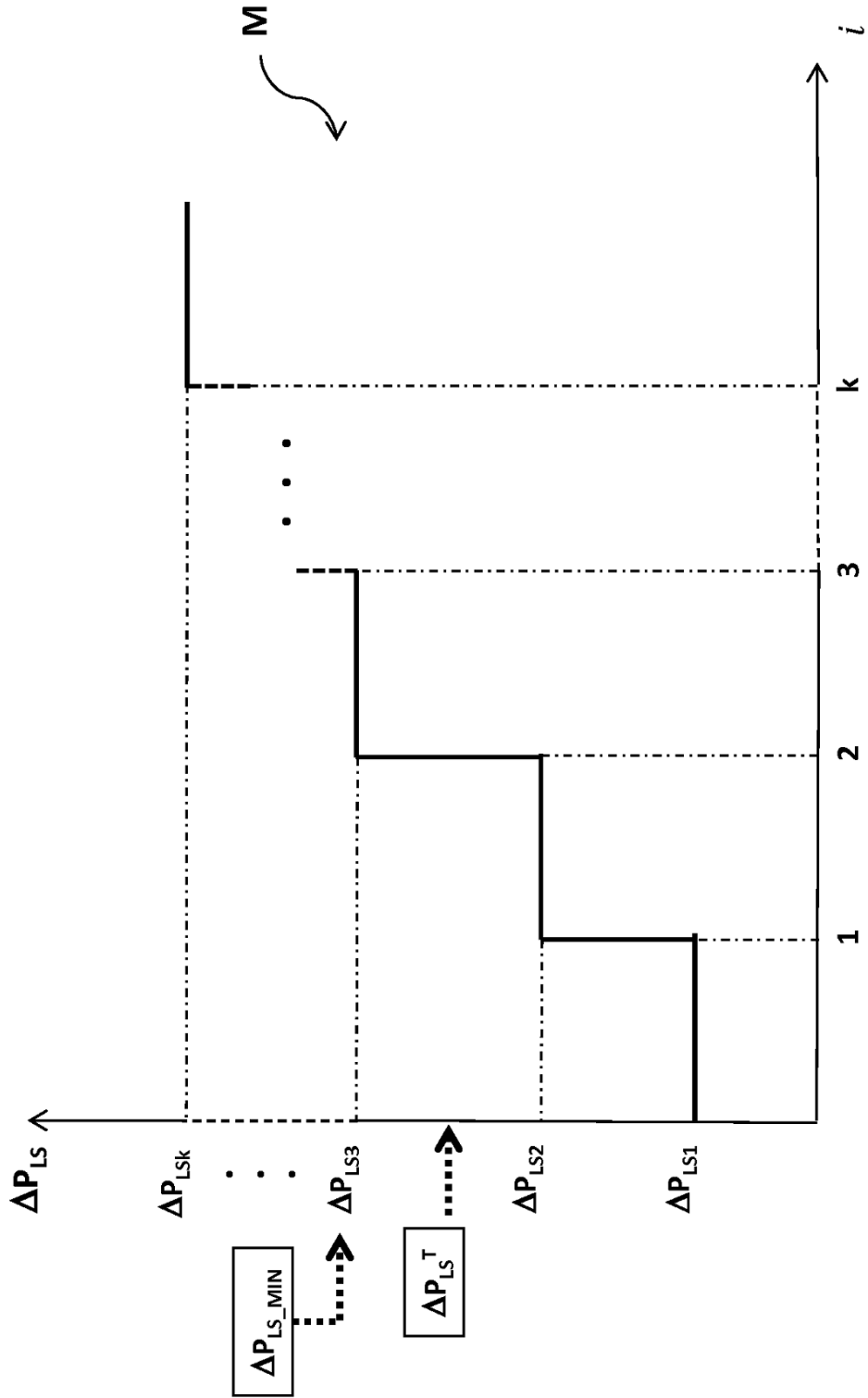


FIG. 4

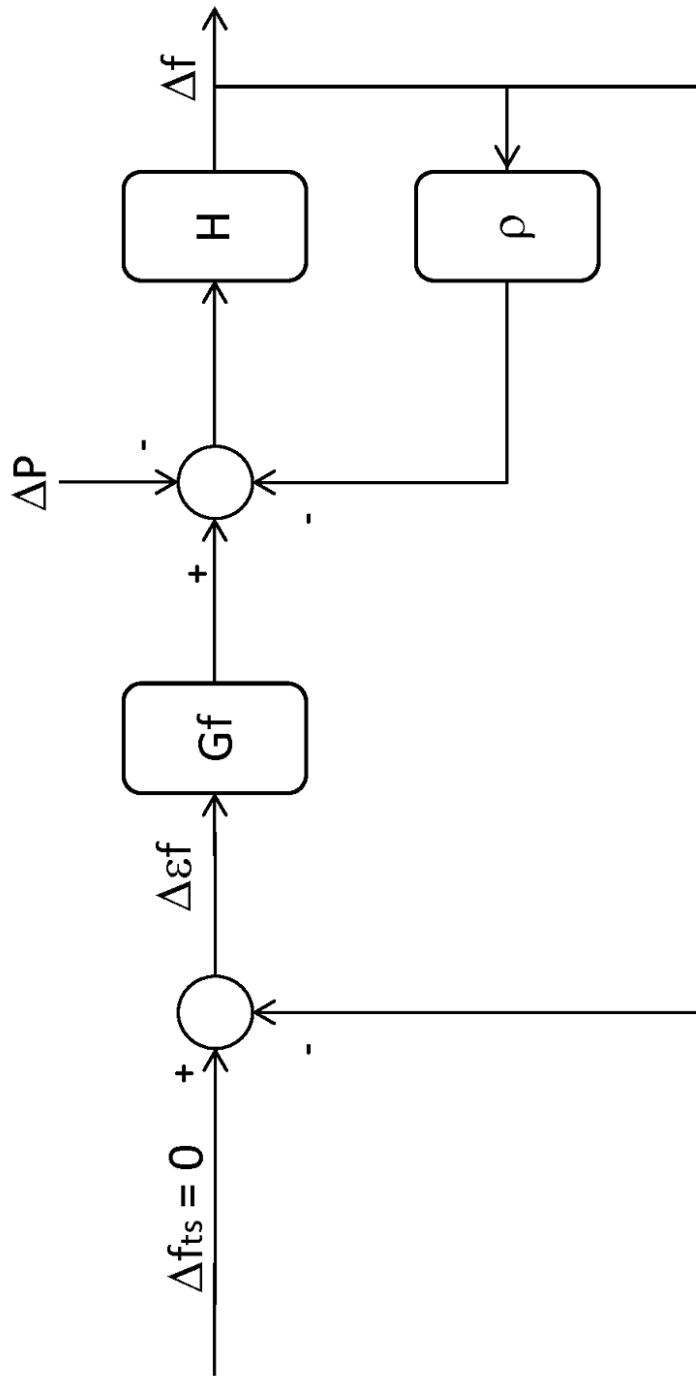


FIG. 5