

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 933 566**

51 Int. Cl.:

H02J 3/14 (2006.01)
G05B 1/01 (2006.01)
G05B 11/01 (2006.01)
H02J 1/10 (2006.01)
H02J 1/14 (2006.01)
H02J 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.01.2019 PCT/US2019/012198**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.07.2019 WO19136161**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.01.2019 E 19736173 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.09.2022 EP 3735727**

54 Título: **Sistema de red eléctrica**

30 Prioridad:

05.01.2018 US 201862613991 P
23.01.2018 US 201862620981 P
21.12.2018 US 201816230203

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.02.2023

73 Titular/es:

EMERA TECHNOLOGIES LLC (100.0%)
702 North Franklin Street, Suite 100
Tampa, Florida 33602, US

72 Inventor/es:

BENNETT, ROBERT ROSS y
ZUBIETA, LUIS EDUARDO

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 933 566 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

Sistema de red eléctrica

5 Antecedentes

La presente divulgación se refiere a los sistemas de red eléctrica. En particular, un sistema de red diseñado para usar tasas de variación lentas en la corriente proporcionada a los sistemas conectados a la red y usar esas tasas de variación lentas para permitir la detección rápida de fallas.

10 La energía eléctrica se distribuye tradicionalmente a los clientes como CA porque es un método simple y rentable en esquemas de producción de energía centralizados. Los sistemas de red eléctrica de corriente alterna (CA) convencionales utilizan tecnología que tiene casi 100 años. El coste de implementar sistemas de red eléctrica de CA convencionales se basa en productos básicos, como cobre, acero, aluminio, madera y petróleo, que continúan aumentando de precio.

15 Las rápidas mejoras en el coste y el rendimiento de la tecnología fotovoltaica (PV), la tecnología de baterías y la electrónica de potencia facilitan el desarrollo de sistemas de red eléctrica de CC que pueden proporcionar una mejor eficiencia, confiabilidad y seguridad a costes más bajos que los sistemas de red eléctrica de CA. Las mejoras de costes se pueden obtener a partir de los ahorros económicos del uso de productos básicos de menor coste y del uso más activo de los equipos desplegados.

20 Sin embargo, los sistemas de red eléctrica de CC han progresado lentamente debido a los desafíos relacionados con el control y la protección de las redes eléctricas de CC. Los sistemas de red eléctrica de CC pueden responder rápidamente a las variaciones de carga/suministro y a las condiciones de falla en comparación con los sistemas de CA. Esta característica, combinada con configuraciones de suministro y carga que varían con el tiempo, puede dar como resultado sistemas de red eléctrica de CC que están especialmente diseñados e incluyen algoritmos de control complicados para mantener la estabilidad. Además, las condiciones de falla en las redes de distribución de CC pueden ser un problema de seguridad. Por ejemplo, a diferencia de las redes de distribución de CA, el flujo directo constante de corriente a una falla del sistema de CC puede ser difícil de interrumpir utilizando medios rentables.

25 Al diseñar un sistema que funcione con tasas de variación lentas, se puede agregar inductancia al sistema para reducir el di/dt de la corriente, lo que hace que el sistema sea más seguro y capaz de operar con hardware con capacidades nominales de corriente más bajas (por ejemplo, fusibles). Las tasas de variación lentas también pueden mejorar la estabilidad del sistema y permitir el uso de técnicas de señalización de voltaje que, de otro modo, serían difíciles en un sistema con variaciones aleatorias en el voltaje del sistema. Un ejemplo es el documento EP1560311.

30 La confiabilidad de la distribución de energía es una prioridad para los operadores de la red. La capacidad de detectar, aislar y recuperarse rápidamente de fallas en el sistema de distribución es fundamental para la confiabilidad del sistema. La proliferación de recursos distribuidos trae restricciones adicionales a la operación del sistema que deben abordarse para mantener y aumentar la confiabilidad del sistema de distribución. Los sistemas de distribución utilizan fusibles y relés de protección para aislar las diferentes secciones del sistema en caso de fallas. Cuando se quema un fusible debido a una sobrecorriente, se debe enviar personal de servicio al sitio para reemplazar el fusible y restaurar el servicio de energía a los afectados por el corte.

35 Se pueden instalar y coordinar protecciones electrónicas más avanzadas basadas en la medición de la corriente y la desconexión en caso de falla para responder antes que el fusible y permitir una fácil restauración de la energía después de una falla. Estas protecciones electrónicas pueden incluir estimación de distancia de falla, transformadas wavelet y la corriente diferencial. Debido al alto coste, los métodos avanzados se utilizan principalmente en alimentadores más grandes, siendo los fusibles el método preferido para proteger los ramales más pequeños y las caídas de servicio. Se ubican protecciones para minimizar el número de clientes afectados por una falla. Además, en algunos casos, se proporcionan rutas redundantes de distribución de energía para restaurar rápidamente la energía y minimizar la cantidad de clientes afectados por cortes.

40 Los esquemas tradicionales de detección de fallas incluyen una estrategia de equilibrio que permite que el sistema reaccione rápidamente ante una coincidencia imperfecta entre el suministro y el comportamiento de la carga por una variación de voltaje, lo que indica un desequilibrio de voltaje y, por lo tanto, un desequilibrio de corriente. Los sistemas tradicionales deben tolerar una amplia gama de corrientes operativas, de modo que, incluso en condiciones de falla, el sistema necesita tiempo para determinar que la corriente es anormal y constituye una falla. Estos sistemas tradicionales se basan en un gran flujo de energía hacia la falla para iniciar la acción de protección, lo que crea una alta probabilidad de daños y problemas de seguridad. Es decir, las protecciones de sobreintensidad convencionales se activan ante corrientes muy superiores al valor nominal de la corriente de línea, independientemente de la corriente que esté demandando la carga en cada instante. Esto se debe a que el sistema no puede anticipar cambios repentinos de carga y diferenciarlos de las corrientes de falla.

65

Para lograr estos objetivos, el sistema puede agregar comunicación entre las redes de suministro y carga, ya sea a través de plataformas de comunicación alámbricas o inalámbricas. Las plataformas de comunicación alámbricas normalmente requieren hardware independiente instalado únicamente para la comunicación. Estas plataformas requieren equipo adicional, lo que aumenta el coste del sistema. Las plataformas de comunicación inalámbricas también requieren hardware adicional instalado en el sistema y pueden no ser confiables. Ambos sistemas requieren un rediseño significativo cada vez que se crea o agrega una nueva red, lo que aumenta aún más los costes de suministro o actualización de las redes eléctricas.

A medida que la infraestructura eléctrica cambia al tener más generación y almacenamiento distribuidos, se necesitan nuevas tecnologías para aprovechar esos recursos y aumentar la confiabilidad del sistema de distribución eléctrica. Esto es aún más importante en los sistemas de distribución de CC donde el comportamiento diferente da como resultado la necesidad de nuevos métodos de protección. Por ejemplo, el aumento de corriente después de una falla en un sistema de CC es generalmente mucho más rápido que en los sistemas de CA, lo que requiere una respuesta más rápida de los métodos de protección, además de complicar la coordinación de las protecciones. Además, la restauración de la energía en los sistemas de distribución de CC es más difícil debido a las grandes capacitancias del sistema que resultan en grandes corrientes de arranque durante la reenergización y potencialmente en resonancias y daños al equipo.

Para suministrar energía desde un sistema de distribución de CC a un sistema de CA, se puede usar un inversor. Un inversor es un dispositivo que transforma un suministro de CC en un suministro de CA. Los inversores logran esto usando una operación de conmutación, haciendo que la energía fluya en una onda en lugar de una ruta directa. La operación de conmutación puede variar desde un interruptor físico hasta un circuito eléctrico complejo que utiliza semiconductores para operar un interruptor.

Los inversores también varían en la forma de la onda de suministro de CA que crean. Estos suministros de CA pueden ser ondas cuadradas, ondas sinusoidales o cualquier otra forma de onda dictada por el software de control del inversor. Diferentes aplicaciones pueden tolerar diferentes tipos de señales de potencia. Por ejemplo, la electrónica compleja es muy sensible a la forma de la onda de potencia y requiere ondas sinusoidales suaves para evitar dañar los componentes internos. Los aparatos electrónicos grandes, como refrigeradores y hornos, pueden tolerar más ondas cuadradas sin dañar sus componentes.

Las redes eléctricas deben preocuparse por las fallas. Las fallas pueden ser peligrosas por diversas razones, incluido el peligro para las personas en el área de la falla al causar una electrocución que podría provocar una fibrilación ventricular. Existen varios tipos de fallas, incluidas fallas a tierra, fallas de alta impedancia, fallas de fase, fallas de polo a polo, fallas de arco, fallas de picoteo intermitente, desequilibrio de voltaje debido a conexiones neutras abiertas.

Las fallas GFI se detectan tradicionalmente en el transformador con un dispositivo GFI externo. Este dispositivo pasa dos conductores que transportan corriente de un suministro de CA a través de un transformador de corriente común. Ambas corrientes inducen un campo magnético en el núcleo del transformador de corriente. Cuando las corrientes están en una condición de flujo balanceado (o sin condición de falla), las corrientes opuestas inducen campos magnéticos que se anulan entre sí, dando como resultado un voltaje de salida cero en el devanado secundario del transformador de corriente. Cuando ocurre una falla a tierra, una pequeña cantidad de corriente se desvía a tierra y aparece como un desequilibrio en el transformador de corriente, generando así un voltaje secundario que opera rápidamente el disyuntor GFI.

Resumen

Esta aplicación se define en las reivindicaciones independientes. La divulgación divulga un sistema que puede comprender al menos una porción de una red de suministro. El sistema puede comprender además un controlador de carga que controla el flujo de corriente con un nivel de corriente de I_1 en una red de carga que proporciona energía a una o más cargas desde al menos una porción de la red de suministro de acuerdo con una curva de carga preprogramada. El sistema también puede comprender un sistema de protección que aisle al menos una porción de la red de suministro del controlador de carga en respuesta a la detección de un patrón de corriente que es inconsistente con la curva de carga preprogramada.

Esta solicitud también divulga un sistema en el que la red de suministro es una red de CC. Esta solicitud también divulga un sistema en el que la red de suministro es una red de CA. El sistema también divulga que la red de suministro puede comprender un controlador de suministro que mantiene un voltaje de suministro de la red de suministro.

La solicitud también divulga un sistema en el que la red de suministro comprende además un almacenamiento de energía, en el que el controlador de suministro mantiene el voltaje de suministro utilizando el almacenamiento de energía. El sistema también puede comprender que el controlador de suministro esté configurado para variar el voltaje de suministro para enviar un pulso de comunicación a un voltaje o forma predeterminados. La solicitud también divulga un sistema donde el controlador de carga comprende un sensor de voltaje, un procesador y una memoria, donde la memoria incluye instrucciones que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador extraiga el pulso de comunicación de una señal de potencia proporcionada por la red de alimentación mediante el sensor de

tensión. La solicitud también divulga un sistema en el que la memoria comprende además instrucciones que, cuando son ejecutadas por el procesador, procesan el pulso de comunicación para determinar un comando emitido al controlador de carga.

5 El sistema también puede comprender que el procesador determina el comando basándose en una duración de tiempo que el voltaje de suministro permanece en el voltaje predeterminado. El sistema también puede comprender que el procesador determina el comando en función de la forma de la señal de alimentación hacia o desde el voltaje de suministro. El sistema también puede comprender que el procesador determina el comando en función de la tasa a la que la señal de potencia pasa al voltaje predeterminado.

10 El sistema también puede comprender variar el voltaje de suministro para enviar el pulso de comunicación que comprende cambiar el voltaje de suministro desde un nivel inicial al voltaje predeterminado a una tasa más lenta que la transitoriedad normal de una línea de distribución en la red de suministro.

15 El sistema también puede comprender que el procesador determine un inicio del pulso de comunicación en base a la detección del cambio en el voltaje de suministro al voltaje predeterminado a la tasa establecida.

El sistema también puede comprender enviar el pulso de comunicación que comprende además finalizar el pulso de comunicación cambiando el voltaje de suministro desde el voltaje predeterminado a una tasa establecida. El sistema también puede comprender que el procesador determine el final del pulso de comunicación en base a la detección del cambio en el voltaje de suministro desde el voltaje predeterminado a una tasa establecida.

20 El sistema también puede comprender que el controlador de suministro esté configurado además para realizar la corrección de errores de comunicación retransmitiendo el pulso de comunicación si no se detecta una respuesta esperada a un comando comunicado por el pulso de comunicación dentro de un período de tiempo.

25 La solicitud también divulga un sistema donde el controlador de carga comprende un sensor de voltaje, un procesador y una memoria, donde la memoria incluye instrucciones que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador detecte una falla cuando el sensor de voltaje mide un voltaje de suministro de la red de suministro que no sigue un patrón esperado establecido por el controlador de origen.

30 El sistema también puede comprender un almacenamiento de energía en la red de carga, y el controlador de carga que controla el flujo de corriente comprende almacenar o extraer energía del almacenamiento de energía para mantener el flujo de corriente controlado de acuerdo con la curva de carga preprogramada.

35 La solicitud también divulga un sistema en el que el almacenamiento de energía comprende un controlador de almacenamiento y un dispositivo de almacenamiento de energía, controlando el controlador de almacenamiento el almacenamiento o la extracción de energía del dispositivo de almacenamiento de energía. El sistema también puede comprender que el controlador de almacenamiento se comunique con el controlador de carga para ajustar una posición en la curva de carga preprogramada en función de la cantidad de energía almacenada en el dispositivo de almacenamiento de energía. El sistema también puede configurarse para que el dispositivo de almacenamiento de energía comprenda una batería.

40 El sistema también puede comprender los niveles de cambios del controlador de carga en la curva de carga preprogramada en respuesta a la demanda de una o más cargas.

La solicitud también divulga un sistema en el que una o más cargas comprenden un edificio. La solicitud también describe un sistema en el que una o más cargas comprenden un inversor.

50 El sistema también puede comprender que el inversor comprende una memoria; un procesador; y un circuito para convertir la energía de CC en energía de CA. El dispositivo de almacenamiento de memoria puede incluir instrucciones que, cuando las ejecuta el procesador, realizan un método que comprende recibir una salida del inversor, almacenar la salida del inversor para múltiples puntos en el tiempo, analizar la salida del inversor para múltiples puntos en el tiempo para detectar una o más fallas, determinar si una o más de las fallas detectadas requieren que el inversor ingrese a uno o más modos de protección, y emitir un comando para hacer que el inversor ingrese a uno o más modos de protección en base a la determinación.

55 El sistema también puede comprender que el sistema de protección comprende un componente que limita la tasa de variación de una corriente de falla.

60 La solicitud también divulga un sistema en el que el componente es un inductor.

La solicitud también divulga un sistema en el que el sistema de protección comprende un dispositivo de protección, comprendiendo el dispositivo de protección una unidad de detección de corriente que mide una corriente; un controlador que compara las mediciones de corriente de la unidad de detección de corriente con un patrón

predeterminado; y una desconexión rápida que recibe una señal del controlador para actuar cuando un patrón de la corriente medida es inconsistente con el patrón predeterminado.

5 El sistema también puede comprender comparar las mediciones de corriente de la unidad de detección de corriente con el patrón predeterminado que comprende comparar una tasa de rampa de las mediciones de corriente con una tasa de rampa predeterminada. El sistema también puede configurarse para que la comparación de la tasa de rampa de las mediciones de corriente con la tasa de rampa predeterminada comprenda el cálculo de la derivada de las mediciones de corriente.

10 La solicitud también divulga un sistema en el que la desconexión rápida comprende un dispositivo de estado sólido.

El sistema también puede comprender la detección del patrón de corriente que es inconsistente con la curva de corriente preprogramada en base a una tasa de rampa observada. El sistema también puede comprender la detección del patrón de corriente que es inconsistente con la curva de carga preprogramada en base a una forma del patrón de corriente. El sistema también puede configurarse para que la detección del patrón de corriente que es inconsistente con la curva de carga preprogramada se base en un nivel del patrón de corriente.

La aplicación también divulga un sistema donde el controlador de carga es un primer controlador de carga, el nivel de corriente de I_1 en la red de carga es un primer nivel de corriente de I_1 en una primera red de carga, y la curva de carga preprogramada es una primera curva de carga preprogramada. El sistema puede comprender además un segundo controlador de carga que controla el flujo de corriente con un segundo nivel de corriente de I_2 en una segunda red de carga desde al menos una porción de la red de suministro de acuerdo con una segunda curva de carga preprogramada. La solicitud también divulga un sistema en el que la primera curva de carga preprogramada y la segunda curva de carga preprogramada son las mismas. La solicitud también divulga un sistema donde la primera curva de carga preprogramada y la segunda curva de carga preprogramada son diferentes. El sistema también puede comprender detectar el patrón de corriente que es inconsistente con la curva de carga preprogramada comprende detectar que el patrón de corriente es inconsistente tanto con la primera curva de carga preprogramada como con la segunda curva de carga preprogramada.

30 Descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de un sistema de red eléctrica.

35 Las Figuras 2-4 son curvas de carga preprogramadas para varios controladores de suministro y carga del sistema de red eléctrica de CC de la Figura 1.

La Figura 5 es un ejemplo de un esquema de control de comunicación por pulsos.

40 La Figura 6 es un ejemplo de un pulso de comunicación.

La Figura 7 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de un dispositivo de protección.

La Figura 8 es un diagrama que muestra un ejemplo de un sistema inteligente de detección de fallas del inversor.

45 La Figura 9 es un diagrama de flujo que ilustra la función del software.

La Figura 10 es un diagrama que muestra un ejemplo de un sistema inteligente de detección de fallas del inversor con la unidad de control integrada en el dispositivo inversor.

50 La Figura 11 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de un sistema de red eléctrica.

La figura 12 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de un sistema de red eléctrica.

55 La figura 13 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de un sistema de red eléctrica.

Las figuras 14-16 son curvas de carga preprogramadas para varios controladores de suministro y carga del sistema de red eléctrica de CC de la Figura 1.

La figura 17 es un ejemplo de un pulso de comunicación.

60 Descripción detallada

La presente divulgación divulga sistemas y técnicas relacionadas con un sistema de red eléctrica que puede detectar y eliminar fallas antes que otras alternativas mientras mantiene una operación estable. En general, el sistema de la red eléctrica puede utilizar el almacenamiento de energía local para limitar los picos de demanda de las cargas. Esto permite un control estable sobre las curvas de carga en la red, que luego puede usarse para la detección de fallas en

función de las variaciones de la curva de carga esperada. Este control estabilizado puede evitar disparos molestos que de otro modo podrían ser causados por picos en la carga, como el ciclo de un compresor de aire acondicionado. La técnica tiene un mayor valor en las redes de CC donde la dinámica del sistema genera complicaciones adicionales para la detección e interrupción de fallas. Sin embargo, las redes de CA también pueden beneficiarse al proporcionar una detección temprana de fallas, evitando que se fundan fusibles o que se disparen los interruptores automáticos, aumentando la confiabilidad al permitir una restauración rápida de la energía después de una falla, entre otros beneficios.

Para una red de CC, los sistemas y técnicas descritos pueden implementarse para realizar una o más de las siguientes ventajas. Las realizaciones de un sistema de red eléctrica de CC descritas en esta especificación son más económicas y más fiables que los sistemas de red eléctrica de CA. En relación con los sistemas de red eléctrica de CA, las realizaciones de un sistema de red eléctrica de CC descritas en esta especificación proporcionan una interfaz o conexión más fácil a fuentes de energía de CC renovables, como un sistema fotovoltaico. Las realizaciones de un sistema de red eléctrica de CC descritas en esta especificación proporcionan configuraciones de CC en los puntos de carga, lo que permite la conversión de aparatos y otras cargas a CC. Las configuraciones efectivamente modulares de un sistema de red eléctrica de CC pueden permitir una instalación subterránea más fácil y mano de obra menos calificada, y requieren menos o ninguna personalización para cada aplicación. Las realizaciones de un sistema de red eléctrica de CC descritas en esta especificación proporcionan una operación inherentemente más segura de la red eléctrica de CC que se puede lograr debido a la velocidad de conmutación y el comportamiento de carga programable de la electrónica de potencia en combinación con el almacenamiento de energía distribuida. Las realizaciones de un sistema de red eléctrica de CC y los diseños modulares a prueba de fallas asociados pueden eliminar la complejidad de muchos componentes del sistema de red eléctrica de CA y las variaciones en la frecuencia de la línea eléctrica, lo que puede permitir la consistencia internacional.

Para facilitar la comunicación efectiva, la invención también incluye una plataforma de comunicación de señal de pulso que permite que la red se comunique enviando una señal de pulso donde el voltaje de la energía suministrada se establece en un voltaje de comunicación usando una rampa ascendente y una rampa descendente lentas del voltaje para un voltaje de comunicación especificado para indicar que el pulso es una señal de comunicación.

Hardware

Visión general

La figura 1 es un diagrama de bloques que muestra un ejemplo de un sistema 100 de red eléctrica que puede detectar y eliminar fallas mientras mantiene una operación estable y suministra energía a las redes de carga. Por ejemplo, cuando la red eléctrica es una red eléctrica de CC, el sistema 100 puede implementarse como una red de distribución independiente con energía eléctrica suministrada por fuentes de generación de energía renovable y/o de respaldo y dispositivos de almacenamiento de energía. El sistema 100 de red eléctrica de CC puede configurarse como una aplicación de última milla que reemplaza los sistemas de red eléctrica de CA existentes y proporciona una mejor confiabilidad al tiempo que reduce la carga máxima del sistema de CA y evita la generación o las adiciones de capacidad de línea. El sistema 100 de red eléctrica de CC puede suministrar energía eléctrica a largas distancias y con niveles más altos de exposición pública en relación con las aplicaciones típicas de CC que normalmente están encerradas o contenidas dentro de un edificio. Aprovechando el uso de dispositivos de almacenamiento de energía y la programabilidad de los controladores de potencia, el sistema 100 de red eléctrica de CC, con el almacenamiento y los flujos controlados, puede proporcionar un sistema de distribución que funcione de forma segura en y alrededor de áreas públicas. El uso inteligente de los dispositivos de almacenamiento de energía, por ejemplo, el almacenamiento de baterías y la programabilidad de los controladores de potencia, pueden superar las limitaciones de los sistemas de distribución de CC convencionales en relación con la estabilidad del sistema y la detección de fallas, la eliminación de fallas y el control del sistema.

Red de suministro

El sistema 100 de red eléctrica de CC incluye una red 102 de suministro y una o más redes de carga, por ejemplo, redes 120 y 160 de carga. La red 102 de suministro está conectada con las redes 120 y 160 de carga mediante un circuito de distribución de CC (no mostrado) que tiene varios voltajes y configuraciones posibles. Dentro de la red 102 de suministro y las redes 120 y 160 de carga hay convertidores que pueden tener diversas configuraciones y pueden operar con diversos algoritmos de configuración de suministro y carga y curvas preprogramadas, que se describirán con más detalle a continuación. En la realización ilustrada de la figura 1, se muestra la red 102 de suministro entregando energía eléctrica con un nivel de corriente de $I_1 + I_2 + \dots + I_n$ a la red de carga. Aunque se muestran una red 102 de suministro y dos redes 120 y 160 de carga con fines explicativos, el sistema 100 de red eléctrica de CC puede incluir más de una red de suministro y/o una o más redes de carga. En algunas realizaciones, una red de carga puede transformarse y actuar como una red de suministro, que se habilita a través de convertidores bidireccionales, fuentes de energía locales y/o almacenamiento de energía local. En algunas realizaciones, la red de carga puede estar provista de un sistema de protección equivalente al dispositivo 110 de protección en la red 102 de origen que le otorga la funcionalidad completa de una red de origen.

La red 102 de suministro puede incluir una fuente 108 de energía que genera energía. La fuente 108 de energía puede incluir, por ejemplo, un sistema fotovoltaico que emplea una matriz de paneles solares para generar energía eléctrica de CC, un sistema de energía hidroeléctrica que emplea turbinas de agua para generar energía eléctrica de CC, un parque eólico que emplea turbinas de viento para generar energía eléctrica de CC, un sistema de generación de combustible fósil natural distribuido, una fuente de batería y/o una red de CA a través de un rectificador. La fuente 108 de energía puede incluir una fuente de energía principal (por ejemplo, el sistema fotovoltaico) y una fuente de energía de respaldo (por ejemplo, el sistema de energía hidroeléctrica, el parque eólico, el sistema de generación de combustible fósil natural distribuido, otros sistemas de red de CC y/o la red de CA a través del rectificador). En algunas implementaciones, la fuente 108 de energía también incluye una o más baterías de tamaño(s) apropiado(s).

La red 102 de suministro puede incluir un controlador 106 de fuente y un dispositivo 110 de protección, que puede ser un dispositivo independiente o parte de otro dispositivo, tal como un controlador de suministro. En algunas implementaciones, el controlador 106 de fuente incluye un controlador de carga que regula la tasa a la que se agrega o extrae corriente eléctrica de la fuente 108 de energía para regular el voltaje de la red. El controlador 106 de fuente puede incluir un rastreador de punto de máxima potencia (MPPT) que optimiza una coincidencia entre las fuentes de energía dentro de la fuente 108 de energía. En algunas implementaciones, la fuente 108 de energía comprende un sistema de CA o redes de CC adicionales de tamaño suficiente (por ejemplo, un sistema de red de energía de CA). El controlador 106 de fuente puede incluir un inversor de energía que convierte el exceso de energía de CC en la red de carga para suministrar energía de CA de regreso al sistema de CA de tamaño suficiente. En dichas implementaciones, el sistema puede operar con almacenamiento en el suministro distinto del sistema de CA de tamaño suficiente. El controlador 106 de fuente y la fuente 108 de energía pueden ser una sola unidad integrada o dos o más unidades separadas. El dispositivo 110 de protección puede ser un convertidor de potencia tal como un convertidor de CC a CC. El dispositivo 110 de protección puede estar integrado con el controlador de fuente, podría ser independiente o varios dispositivos de protección podrían estar distribuidos a lo largo de la red.

La red 102 de suministro puede emplear las fuentes de energía de respaldo en la fuente 108 de energía para suministrar energía a niveles predecibles. La red de suministro puede actuar como fuente de voltaje para las redes 120 y 160 de carga. El controlador de suministro puede asegurar que el voltaje en la red esté controlado y/o puede asegurar que se suministre cualquier nivel de corriente requerido para mantener el voltaje constante o de rampa y de acuerdo con una curva de carga preprogramada. En este caso, la curva de carga puede ser una curva de voltaje. La cantidad de corriente requerida para mantener los perfiles de voltaje es predecible, por lo que pequeñas variaciones de la corriente necesaria para proporcionar los perfiles de voltaje indican una falla en la red. De manera similar, el dispositivo 110 de protección puede monitorizar la tasa de variación de la corriente y/o el nivel de corriente para determinar cuándo ocurre una falla en la red. La tasa de variación medida usando una serie de técnicas. Por ejemplo, puede medirse utilizando un algoritmo que calcula la derivada de la señal de corriente. Alternativamente, puede medirse usando uno o más circuitos para medir la tasa de variación de la corriente.

La fuente 108 de alimentación puede permitir redes de carga independientes para controlar el flujo de corriente con un nivel de I_n de la red 102 de suministro de acuerdo con una curva de carga preprogramada. Por ejemplo, la fuente 108 de energía puede proporcionar energía de CC adicional que fluye a través de al menos una porción del dispositivo 110 de protección durante los períodos de consumo máximo de energía, los períodos de baja producción de energía y/o las demandas de energía imprevistas. Además, la fuente 108 de energía puede recibir un exceso de energía de CC proporcionada por otros elementos en la red 102 de suministro durante los períodos de alta producción de energía y/o durante los períodos de bajo consumo de energía, y la fuente 108 de energía también puede recibir energía de las redes 120 y 160 de carga.

En algunas realizaciones, tales como aquella de la figura 11, la red 1102 de suministro se puede generalizar para tener un dispositivo 1110 de protección entre la red 1102 de suministro y las redes de carga. La red 1102 de suministro puede funcionar de manera similar a la descrita anteriormente para la red 102 de suministro.

En algunas realizaciones, tal como la de la figura 12, la red 1202 de suministro incluye una fuente 1204 de alimentación, un controlador 1206 de almacenamiento, un almacenamiento 1208 de energía y un controlador 1210 de suministro. La fuente 1204 de alimentación y el almacenamiento 1208 de energía pueden funcionar de manera similar a la descrita anteriormente para la fuente 108 de alimentación. De manera similar, el controlador 1206 de almacenamiento puede funcionar de manera similar a la descrita anteriormente para el controlador 106 de fuente. Además, el controlador 1210 de suministro puede coordinarse con el almacenamiento 1208 de energía para complementar la energía del suministro de la fuente 1204 de alimentación y mantener el voltaje de suministro en el nivel deseado. El controlador 1210 de suministro puede contener un dispositivo de protección que funciona de manera similar a la descrita aquí para los dispositivos 110 y 700 de protección. El controlador 1210 de suministro también puede realizar otras funciones conocidas en la técnica para regular la potencia, el voltaje y la corriente que fluye entre la red 1202 de suministro y las redes 1220 y 1260 de carga.

Redes de carga

La red 120 de carga puede incluir un controlador 126 de almacenamiento, una unidad 128 de almacenamiento de energía y un controlador 130 de carga. En algunas implementaciones, el controlador 126 de almacenamiento puede

ser opcional. En algunas implementaciones, la unidad 128 de almacenamiento de energía incluye una o más baterías de tamaño(s) apropiado(s), y el controlador 126 de almacenamiento incluye un controlador de carga que controla la tasa a la que se agrega o extrae corriente eléctrica de la unidad 128 de almacenamiento de energía. El controlador 126 de almacenamiento puede ser utilizado por el controlador 1130 de carga para limitar la tasa de variación en la red 120 de carga con la suficiente lentitud para que el cambio pueda diferenciarse de otras transitorias que ocurren durante el funcionamiento normal del sistema. La tasa de variación utilizada puede depender de las capacidades del sistema. El controlador 126 de almacenamiento y la unidad 128 de almacenamiento de energía pueden ser una sola unidad integrada o dos o más unidades separadas. El controlador 130 de carga puede ser un convertidor de potencia tal como un convertidor de CC a CC. El controlador 126 de almacenamiento también puede comunicarse con el controlador 130 de carga para ajustar una posición en la curva de carga preprogramada en función de la cantidad de energía almacenada en la unidad 128 de almacenamiento de energía. De esta manera, el controlador 126 de almacenamiento puede operar para evitar que la unidad 128 de almacenamiento de energía se cargue o descargue por completo, lo que inhibiría la capacidad del controlador 130 de carga de mantener la corriente consumida por la red 120 de carga de acuerdo con la curva de carga preprogramada. El controlador 130 de carga también se puede conectar a uno o más dispositivos, como fuentes de energía fotovoltaica, un generador, etc.

La red 120 de carga puede emplear la unidad 128 de almacenamiento de energía y el controlador 130 de carga para mantener el flujo de energía a niveles estables. La unidad 128 de almacenamiento de energía puede complementar el flujo de corriente para mantener un nivel de corriente de I_1 en la red 120 de carga de acuerdo con un comando del controlador 130 de carga basado en una curva de carga preprogramada. Por ejemplo, la unidad 128 de almacenamiento de energía puede proporcionar energía de CC adicional a la carga 140 durante los períodos de consumo de energía pico, los períodos de bajo suministro de energía y/o las demandas de energía imprevistas. La carga 140 puede ser una sola carga o múltiples cargas. La unidad 128 de almacenamiento de energía también puede recibir un exceso de energía de CC proporcionada a la red 120 de carga que no es utilizada por la carga 140. En algunas implementaciones, el controlador 130 de carga solicita energía de la red 102 de suministro para proporcionar flujos de energía bajos y constantes para cargar la unidad 128 de almacenamiento de energía además de satisfacer la demanda de la carga 140. Por ejemplo, pueden usarse carga lenta u otras técnicas adecuadas. En general, las diversas capacidades de la red 102 de suministro (p. ej., fuente de alimentación, controlador y dispositivo de almacenamiento de energía) y las diversas capacidades de la red 120 de carga (p. ej., controlador y dispositivo de almacenamiento de energía) permiten que la corriente que fluye a través del sistema sea lo más constante y bajo posible. En aún otras implementaciones, como se muestra en la figura 13, otras fuentes de energía 1234 y 1274, como un generador fotovoltaico o un generador de energía convencional, podrían conectarse a la red de carga. La figura 13 es similar a la figura 12, pero tiene las fuentes 1234 y 1274 de alimentación añadidas a las redes de carga.

De manera similar, la red 160 de carga puede incluir un controlador 166 de almacenamiento, una unidad 168 de almacenamiento de energía y un controlador 170 de carga. En algunas implementaciones, el controlador 166 de almacenamiento puede ser opcional. En algunas implementaciones, la unidad 168 de almacenamiento de energía incluye una o más baterías de tamaño(s) apropiado(s), y el controlador 166 de almacenamiento incluye un controlador de carga que limita la tasa a la que se agrega o extrae corriente eléctrica de la unidad 168 de almacenamiento de energía. El controlador 166 de almacenamiento limita la tasa de variación en la red 160 de carga con la suficiente lentitud para que el cambio pueda diferenciarse de otros transitorios que ocurren durante el funcionamiento normal del sistema, como cuando se agregan o encienden dispositivos. La tasa de variación utilizada dependerá de las capacidades del sistema. El controlador 166 de almacenamiento y la unidad 168 de almacenamiento de energía pueden ser una sola unidad integrada o dos o más unidades separadas. El controlador 170 de carga puede ser un convertidor de potencia tal como un convertidor de CC a CC. La red 160 de carga también se puede conectar a uno o más dispositivos, como una fuente de energía fotovoltaica, un generador, etc.

La red 160 de carga puede emplear la unidad 168 de almacenamiento de energía para mantener el flujo de energía a niveles estables. La unidad 168 de almacenamiento de energía puede ser una batería u otro medio de almacenamiento de energía. La unidad 168 de almacenamiento de energía puede complementar el flujo de corriente para mantener un nivel de corriente de I_2 en la red 160 de carga de acuerdo con un comando del controlador 170 de carga basado en una curva de carga preprogramada. Por ejemplo, la unidad 168 de almacenamiento de energía puede proporcionar energía CC adicional a la carga 180 durante los períodos de consumo máximo de energía, los períodos de bajo suministro de energía y/o las demandas de energía imprevistas. La unidad 168 de almacenamiento de energía también puede recibir energía de CC en exceso proporcionada a la red 160 de carga que no es utilizada por la carga 180. En algunas implementaciones, el controlador 170 de carga puede solicitar energía de la red 102 de suministro para proporcionar flujos de energía bajos y constantes para la carga lenta de la unidad 168 de almacenamiento de energía además de satisfacer la demanda de la carga 180. Además, en algunas implementaciones, la unidad 168 de almacenamiento de energía también puede suministrar energía a la red 102 de suministro. En general, las diversas capacidades de la red 102 de suministro (p. ej., fuente de alimentación, controlador y dispositivo de almacenamiento de energía) y las diversas capacidades de la red 160 de carga (p. ej., controlador y dispositivo de almacenamiento de energía) pueden permitir que los flujos a través del sistema sea lo más constante y bajo posible.

En algunas realizaciones, tales como la de la figura 11, las redes de carga pueden generalizarse para tener dispositivos 1132 y 1172 de aislamiento, controladores 1130 y 1170 de carga, almacenamiento 1128 y 1168 de energía y cargas 1140 y 1180. Cada uno de estos puede funcionar de manera similar a la descrita anteriormente para los dispositivos

132 y 172 de aislamiento, los controladores 130 y 170 de carga, el almacenamiento 128 y 168 de energía y las cargas 140 y 180, respectivamente. No se muestran en la figura 11 los equivalentes de los inversores 122 y 162 de potencia y los controladores 126 y 166 de almacenamiento. En algunas realizaciones, las cargas pueden ser alimentadas por CC, lo que requiere un convertidor CC/CC en lugar de los inversores 122 y 162 mencionados. Como se describe en este documento, algunas realizaciones pueden incluir esas características mientras que otras no. Similar a la descripción de estas características en la figura 1, algunas realizaciones basadas en las redes de carga de la figura 11 pueden incluir inversores de potencia o controladores de almacenamiento que funcionan de manera similar a los descritos anteriormente.

En algunas realizaciones, tales como la de la figura 12, las redes 1220 y 1260 de carga incluyen dispositivos 1232 y 1272 de aislamiento, controladores 1230 y 1270 de carga, inversores 1222 y 1262 de potencia, controladores 1226 y 1266 de almacenamiento, almacenamiento 1228 y 1268 de energía y cargas 1240 y 1280. Cada uno de estos puede funcionar de manera similar a la descrita anteriormente para los dispositivos 132 y 172 de aislamiento, los controladores 130 y 170 de carga, los inversores 122 y 162 de potencia, los controladores 126 y 166 de almacenamiento, el almacenamiento 128 y 168 de energía y las cargas 140 y 180 respectivamente.

Conexión de la red de suministro y la red de carga

En un sistema con muchas redes de carga, a cada red de carga se le puede asignar una prioridad para acceder a la red de suministro, de modo que no todas las cargas tienen demanda de rampa al mismo tiempo. Esta gestión de red se puede lograr utilizando, por ejemplo, una comunicación token ring que acople las redes de suministro y carga y/o un método integrado de detección y activación en cada red de carga que detecte cambios de voltaje en el sistema y monitoree la actividad en el sistema para determinar el turno de la red de carga para activar. Durante los momentos en que una red de carga está esperando para acceder a la red de suministro, la red de carga puede acceder al almacenamiento de energía local. En un sistema con muchas redes de suministro, las redes de suministro pueden configurarse de manera similar para que no todos los suministros proporcionen energía al mismo tiempo.

En la realización ilustrada en la figura 1, la red 120 de carga da servicio a una carga 140. La carga 140 puede incluir cargas de un edificio u otra estructura, que normalmente incluye, por ejemplo, iluminación, ventiladores, electrodomésticos y otros dispositivos electrónicos. La carga 140 también puede ser un edificio en sí. En algunas implementaciones, la carga 140 puede incluir un cargador de vehículo eléctrico. Además, la carga 140 puede incluir cargas de CC, tales como baterías desplegadas en puntos de carga (por ejemplo, en el cargador de vehículos eléctricos), o un horno o una bomba de calor. Si la carga 140 incluye una carga de CA, la red 120 de carga puede incluir un inversor de energía 122 que convierte la energía de CC proporcionada por la red 102 de suministro en energía de CA para la carga de CA. Las técnicas de flujo controlado y protección descritas en este documento también pueden aplicarse a aplicaciones de mayor energía donde la carga final es variable. En particular, se puede usar una distribución de CC controlada similar dentro de hogares o negocios donde las baterías están instaladas para servir a un solo electrodoméstico para eliminar las variaciones de carga aleatorias, lo que hace que el sistema se asemeje a una versión más pequeña de la red 100 descrita. Esto permite una mayor aplicación de energía dentro de los hogares o negocios para usar técnicas de protección y control de energía de CC similares a las descritas en esta especificación. De manera similar, las comunicaciones de pulso descritas en esta especificación también pueden incluirse en estas implementaciones más pequeñas, como cuando los principios de la red se aplican a un solo dispositivo.

Similar a la red 120 de carga, la red 160 de carga da servicio a una carga 180. La carga 180 puede incluir cargas de un edificio u otra estructura, que normalmente incluye, por ejemplo, iluminación, ventiladores, electrodomésticos y otros dispositivos electrónicos. La carga 180 también puede ser un edificio en sí. En algunas implementaciones, la carga 180 puede incluir un cargador de vehículo eléctrico. Además, la carga 180 puede incluir cargas de CC como baterías desplegadas en puntos de carga (por ejemplo, en el cargador de vehículos eléctricos) o un horno o una bomba de calor. Si la carga 180 incluye una carga de CA, la red 160 de carga puede incluir un inversor 162 de potencia que convierte la potencia de CC proporcionada por la red 102 de suministro en potencia de CA para la carga de CA. Las técnicas de flujo controlado y protección descritas en este documento también pueden aplicarse a aplicaciones de mayor energía donde la carga final es variable. Como se describió anteriormente, se puede usar una distribución de CC controlada similar dentro de hogares o negocios donde las baterías se instalan al nivel del aparato para eliminar las variaciones de carga aleatorias. Esto permite una mayor aplicación de energía dentro de los hogares o negocios para usar técnicas de protección y control de energía de CC similares a las descritas en esta especificación.

Como se explicó anteriormente, el controlador 106 de suministro puede programarse para mantener el voltaje del sistema suministrando corriente a las redes 120 y 160 de carga de acuerdo con los niveles máximos de carga y las tasas de rampa especificadas por la curva 200 de carga preprogramada. Los controladores 130 y 170 de carga pueden ser dispositivos de corriente constante que solicitan corriente de la red 102 de suministro de acuerdo con los respectivos niveles de carga y tasas de incremento especificadas por las curvas 300 y 400 de carga preprogramadas. El dispositivo 110 de protección puede programarse con un comportamiento de suministro que se forma y se adapta a los comportamientos de carga acumulados programados en los controladores 130 y 170 de carga, lo que da como resultado una curva de carga límite similar a 200. Como se muestra en las figuras 2-4, la porción de la curva 200 de carga máxima preprogramada entre niveles de corriente específicos, por ejemplo, 3 y 9 amperios, se puede comparar y hacer coincidir con la curva de carga medida que incluye la corriente I_1 utilizado por el controlador 130 de carga de

la red 120 de carga y que sigue la curva 300 de carga preprogramada. Los valores de 3 y 9 amperios son ejemplares, otro valor puede ser más apropiado dependiendo de la aplicación y las condiciones particulares. La porción de la curva 200 de carga máxima preprogramada entre los niveles 0 y 3 de carga específicos se puede comparar y hacer coincidir con la curva de carga medida que incluye la corriente I_2 utilizado por el controlador 170 de carga de la red 160 de carga y que sigue la curva 400 de carga preprogramada. La curva 200 esperada preprogramada puede tener en cuenta en condiciones en las que tanto I_1 como I_2 están cambiando simultáneamente. Esta estrategia puede mejorar el rendimiento del sistema y puede proporcionar un sistema de protección que reaccione más rápido a las condiciones de falla.

Curvas de carga

El control de las cargas está diseñado para utilizar el almacenamiento de energía en las redes de carga para gestionar las variaciones de carga o suministro a la red de carga. Esto permite que el controlador de carga mantenga una corriente conocida a través de niveles de corriente y tasas de rampa, conocidas como curvas de carga que están preprogramadas en la red. Estas curvas de carga preprogramadas permiten que elementos o dispositivos de protección detecten, a través de corriente y/o voltaje, que el sistema se encuentra dentro de las condiciones aceptables de operación. Por ejemplo, los peores escenarios de tasa de rampa y/o niveles de corriente pueden determinarse en función de las curvas de carga preprogramadas de cada una de las redes de carga. Al imponer límites o formas de rampa en el sistema, el sistema puede garantizar una tasa de variación relativamente pequeña.

Red de Suministro (Primera) Curva de Carga Preprogramada

Las figuras 2 y 14 muestran ejemplos de una curva 200 de carga esperada preprogramada en el peor de los casos que puede ser utilizada por el dispositivo 110 de protección para comparar con el flujo de energía medido de la red 102 de suministro. La curva 200 de carga preprogramada representa el uso total anticipado por las redes 120 y 160 de carga que no debe excederse bajo una operación sin fallas. La curva 200 de carga preprogramada especifica protocolos que siguen las tasas de rampa específicas y rangos de corriente estratégicos (también denominados niveles de carga específicos) para proporcionar corriente a las redes 120 y 160 de carga. Las curvas de carga preprogramadas esperadas son independientes de las corrientes aleatorias proporcionadas por la fuente 108 de alimentación regulada. Las corrientes suministradas por la red de suministro pueden ser gestionadas en parte por la fuente 108 de energía compensando las fluctuaciones en la demanda de las redes de carga. Cuando las corrientes hacia y desde las redes de carga se administran y son predecibles, el voltaje del sistema se puede mantener con precisión y las fluctuaciones se pueden preestimar.

El control de las variaciones de voltaje y corriente en las redes puede permitir que la red determine rápidamente cuándo el voltaje o la corriente cambian más rápido o más lento de lo diseñado. La detección de estas anomalías puede permitir que la red detecte una serie de problemas, incluidas malas conexiones o fallas de arco, que los sistemas tradicionales de detección de fallas no pueden detectar. Por ejemplo, el dispositivo 110 de protección puede programarse para responder a cambios en los niveles de suministro comparando la corriente suministrada con una o más curvas 200 de carga esperadas específicas.

Red de Carga (Segunda) Curva de Carga Preprogramada

Las figuras 3 y 15 muestran ejemplos de una curva 300 de carga preprogramada que puede ser utilizada por el controlador 130 de carga para extraer corriente de la red 102 de suministro. La curva 300 de carga preprogramada se basa en el uso de la carga 140 y cambia por incrementos de amperios específicos con tasas de rampa específicas. La curva 300 de carga preprogramada especifica protocolos que siguen tasas de rampa específicas y, en algunos casos, puntos de ajuste de corriente estratégicos (también denominados niveles de carga específicos) para recibir corriente de la red 102 de suministro, que puede ser independiente de las corrientes aleatorias proporcionadas por la fuente 108 de alimentación y requerido por la carga 140. El controlador 130 de carga puede ser un dispositivo de corriente constante de modo que cuando la carga requiere cambios en la potencia, la unidad 128 de almacenamiento de energía proporciona o absorbe la potencia para que la red de suministro pueda hacer rampa al nuevo punto de ajuste apropiado. La unidad 128 de almacenamiento de energía en combinación con el controlador de almacenamiento puede reducir la variación en las corrientes demandadas por la red de carga al compensar las fluctuaciones en la potencia demandada por la carga 140. Adicionalmente, la unidad 128 de almacenamiento de energía puede proporcionar la potencia demandada por la carga 140 entre los tiempos t_1 y t_2 , durante los cuales el controlador 130 de carga no está solicitando corriente a la red 102 de suministro. Cuando la corriente de la red 102 de suministro a la red 120 de carga es gestionada y predecible, el voltaje del sistema puede mantenerse con precisión y con mayor estabilidad.

El controlador 130 de carga puede actuar como una carga de corriente constante en sus diversos puntos de ajuste. Por ejemplo, el controlador 130 de carga puede configurarse para solicitar 6 amperios de la red 102 de suministro en una amplia gama de voltajes de red de CC. A medida que aumentan otras cargas, el voltaje cae en el sistema, lo que generalmente aumenta todas las corrientes de carga. Para mantener una potencia constante para la carga, la corriente puede permanecer constante a medida que la potencia adicional para la carga 140 se extrae de la unidad 128 de almacenamiento de energía. En este diseño de sistema, la carga se ve como una corriente constante o una corriente

de rampa conocida hasta un nuevo punto de ajuste. La corriente real extraída de la red 102 de suministro por el controlador 130 de carga puede determinarse mediante un proceso que detecta un conjunto de parámetros como el consumo de la carga 140, el estado de carga de la unidad 128 de almacenamiento de energía y el tiempo de día. En algunos casos, el controlador 130 de carga puede solicitar de la red 102 de suministro un suministro de alta corriente mientras ejerce una estrategia para cumplir con la demanda de carga y restablecer la carga de la batería a un nivel alto en previsión de un momento futuro en el que el sistema puede no estar disponible para entregar corriente a un alto nivel.

Las figuras 4 y 16 muestran ejemplos de una curva 400 de carga preprogramada que puede ser utilizada por el controlador 170 de carga para administrar el flujo de energía hacia la red 160 de carga. La curva 400 de carga preprogramada se basa en el uso de la carga 180 y cambia por incrementos de amperios específicos con tasas de rampa específicas. Además, la curva 400 de carga preprogramada puede ser igual o diferente de la curva 300 de carga preprogramada según las necesidades de las cargas 140 y 180. La curva 400 de carga preprogramada específica protocolos que siguen tasas de rampa específicas y, en algunos casos, puntos de ajuste de corriente estratégicos (también denominados niveles de carga específicos) para recibir corriente de la red 102 de suministro que son independientes de las corrientes aleatorias proporcionadas por la fuente 108 de alimentación y requeridas por la carga 180. El controlador 170 de carga puede ser un dispositivo de corriente constante tal que cuando la carga requiere cambios en la potencia, la potencia es proporcionada o absorbida por la unidad 168 de almacenamiento de energía para que la red de suministro pueda hacer rampa al nuevo punto de ajuste apropiado. La unidad 168 de almacenamiento de energía y el controlador 166 de almacenamiento pueden gestionar la variación de las corrientes recibidas por la red 160 de carga compensando las fluctuaciones en la potencia demandada por la carga 180. Adicionalmente, la unidad 168 de almacenamiento de energía puede proporcionar la potencia demandada por la carga 180 entre los tiempos t_3 y t_4 , durante los cuales el controlador 170 de carga no está solicitando corriente a la red 102 de suministro. Cuando la corriente del dispositivo 110 de protección a la red 160 de carga es gestionada y predecible, el voltaje del sistema puede mantenerse con precisión.

El controlador 170 de carga puede actuar como una carga de corriente constante en sus diversos puntos de ajuste. Por ejemplo, el controlador 170 de carga puede configurarse para solicitar 3 amperios de la red 102 de suministro en una amplia gama de voltajes de red de CC. A medida que aumentan otras cargas, el voltaje cae en el sistema, lo que generalmente aumenta todas las corrientes de carga. En el diseño de este sistema, la carga puede verse como una corriente constante o una corriente de rampa conocida hasta un nuevo punto de ajuste. La corriente real extraída de la red 102 de suministro por el controlador 170 de carga puede determinarse mediante un algoritmo que detecta una variedad de parámetros como el consumo de la carga 180, el estado de carga de la unidad 168 de almacenamiento de energía y el tiempo de día. En algunos casos, el controlador 170 de carga puede solicitar de la red 102 de suministro un suministro de alta corriente mientras ejerce una estrategia para cumplir con la demanda de carga y restablecer la carga de la batería a un nivel alto en previsión de un momento futuro en el que el sistema puede no estar disponible para entregar corriente a un alto nivel.

Plataforma de comunicación de señal de pulso

Para la comunicación entre la red de suministro y las redes de carga, la red de suministro puede usar pulsos de voltaje controlados donde la tasa de rampa, el nivel o la combinación de los dos (es decir, la forma del cambio) de ese voltaje, se usa para desencadenar eventos específicos en la red de carga, como encender o apagar el hardware, ajustar el consumo de energía o limitar la producción de energía. Los pulsos también pueden comunicar otra información, como datos meteorológicos, puntos de ajuste del sistema y otros mensajes. Al utilizar las líneas eléctricas ya presentes, la plataforma de comunicación de señales de pulso puede reducir la necesidad de equipos adicionales y aumentar la confiabilidad de la plataforma de comunicación. Siempre que se transmita energía, el sistema puede comunicarse. En un posible esquema de control de enchufar y usar los comandos no se dirigen a un elemento específico del sistema, sino que se difunden a todos los elementos que responden en función del mensaje difundido. Un ejemplo de tal esquema de control se muestra en la figura 5. Alternativamente, los comandos específicos del dispositivo pueden enviarse usando una serie de pulsos. Por ejemplo, un primer pulso o conjunto de pulsos puede dirigirse al dispositivo seguido de un pulso o pulsos adicionales para comunicar el comando o la información dirigida al dispositivo identificado. También se puede utilizar un pulso inicial que identifique una comunicación como específica del dispositivo o como una comunicación de difusión.

Para enviar un pulso, la red de suministro puede usar elementos reguladores, como el controlador 106 de suministro, para aumentar lentamente el voltaje en la línea eléctrica desde un nivel inicial hasta un voltaje predeterminado, o voltaje de comunicación, que la red de carga sabe que indica el cambio en el voltaje es un mensaje. Mientras que los ejemplos de este documento usan un aumento de voltaje como ejemplo, también se pueden usar disminuciones de voltaje. La red de carga luego usa los elementos no reguladores para recibir y decodificar el voltaje de comunicación. Los elementos no reguladores pueden incluir el dispositivo 110 de protección, los controladores 130 y 170 de carga, o dispositivos discretos como sensores de voltaje que permiten que los elementos no reguladores reciban y midan los cambios de voltaje. Por ejemplo, el sensor de voltaje, procesador(es) y dispositivo(s) de memoria necesarios para recibir y decodificar el pulso pueden incluirse en los controladores 130 y 170 de carga. Después de recibir y medir estos cambios, los elementos no reguladores utilizan un conjunto de instrucciones preprogramadas para decodificar la señal.

En una realización, las comunicaciones pueden enviarse usando pulsos lentos con duraciones de cientos de milisegundos o unos pocos segundos. Mediante el uso de pulsos lentos en lugar de señales de alta frecuencia, se eliminan las interferencias provenientes del equipo de conversión de energía y las resonancias y demoras creadas por los efectos de la línea de transmisión larga. Además, el uso de pulsos de baja frecuencia permite transmitir la información a largas distancias que no se logran con pulsos de alta frecuencia. Estos pulsos lentos pueden tener cualquier valor más lento que el funcionamiento normal del sistema, como encender o conectar dispositivos. Por ejemplo, un pulso más lento puede ser 10 veces más lento o 100 veces más lento que el funcionamiento normal dependiendo de las capacidades del sistema para controlar de forma fiable el funcionamiento normal del suministro a las cargas.

En una realización, la decodificación de las señales consiste en medir durante cuánto tiempo se establece el voltaje en el voltaje de comunicación. En esta realización, diferentes periodos de tiempo en que el sistema permanece en el voltaje de comunicación indicarían diferentes comandos o mensajes. Por ejemplo, un período de tiempo puede significar encender o apagar el dispositivo, un segundo período de tiempo puede indicar a la red de carga que limite el consumo de energía. De manera similar, los comandos o mensajes también se pueden comunicar a través de la forma del pulso en el voltaje o la corriente, o a través de la tasa de rampa del voltaje o la corriente.

Otras condiciones, como una falla, también pueden hacer que el voltaje alcance el voltaje de comunicación. Para evitar que los elementos no reguladores interpreten estos cambios como un mensaje, la red de suministro puede aumentar gradualmente el voltaje a una tasa establecida para indicar que el cambio de voltaje es una comunicación. Este proceso también se conoce como aumento lento del voltaje. De manera similar, la red de suministro puede disminuir gradualmente el voltaje al nivel normal para indicar que el mensaje ha terminado. Este proceso también se conoce como disminución lenta. La figura 6 muestra un ejemplo de un pulso de comunicación con un incremento y disminución lentos. La figura 17 muestra otro ejemplo de un pulso de comunicación con un incremento y disminución lentos. Las tasas de incremento y disminución en sí mismas, aunque lentas, podrían cambiarse y usarse para comunicar información además de la duración del pulso.

La plataforma de comunicación por pulsos también puede incluir corrección de errores. Por ejemplo, los errores en la detección pueden ser corregidos activamente por el elemento que reenvía el comando, como un controlador de suministro, si la respuesta esperada no ocurre dentro de un cierto período de tiempo desde la comunicación.

Si bien lo anterior ha descrito una plataforma de comunicación por pulsos que se comunica desde la red de suministro a la red de carga, también son posibles otras configuraciones. Por ejemplo, la red de carga puede comunicarse con la red de suministro imponiendo pulsos de corriente en I_1 a I_n , la red de comunicación por pulsos se puede utilizar para comunicarse entre cualquier red o dispositivo que esté conectado a través de una línea eléctrica siempre que el sistema esté transmitiendo energía.

Detección de fallas

Detección de una falla

Para la protección contra fallas, la red 102 de suministro incluye un dispositivo 110 de protección. En otras realizaciones, el dispositivo 110 de protección puede estar ubicado dentro de la red de carga, tal como dentro de los controladores 130 y 170 de carga. El dispositivo de protección puede ser interno o externo a un controlador de suministro. Se pueden colocar múltiples dispositivos de protección a lo largo de la línea de distribución que permitan seccionar la línea y detectar fallas de manera coordinada. El dispositivo 110 de protección puede incluir relés de estado sólido u otros tipos de aisladores eléctricos adecuados. El dispositivo 110 de protección opera para aislar las redes 120 y 160 de carga, eliminar la energía almacenada en las líneas de distribución, apagar otros convertidores o apagar otras fuentes de energía cuando se detecta una condición de falla.

En particular, la estrategia de equilibrio permite que el sistema 100 reaccione rápidamente a una coincidencia imperfecta entre el suministro y el comportamiento esperado de la carga por una variación de voltaje o una variación de corriente más allá de un umbral especificado fino. La variación de voltaje indica un desequilibrio de voltaje y por lo tanto un desequilibrio de corriente. Los sistemas tradicionales deben tolerar una amplia gama de corrientes operativas, de modo que, incluso en condiciones de falla, el sistema necesita tiempo para determinar que la corriente es anormal y constituye una falla. Algunas realizaciones del sistema descrito en esta especificación suponen que cualquier cosa distinta del rango muy estrecho esperado de niveles de corriente, cambios y formas constituye una falla y se dispara más rápidamente. La protección puede activarse en función de las inconsistencias con un umbral de variaciones en los niveles, la forma y/o la tasa de rampa de la corriente de acuerdo con lo determinado por las curvas de carga preprogramadas. Este umbral de varianza se puede determinar en función de cada curva de carga independiente o se puede basar en cuando el umbral de varianza es excedido por más de una, o todas, las curvas de carga preprogramadas de la red de carga en el sistema. Esto es posible porque el sistema elimina las variaciones de corriente aleatorias para regular los niveles de corriente, lo que permite establecer tolerancias finas para la protección del nivel de corriente absoluto. Además, debido a que el sistema controla las tasas de variación o la corriente y el voltaje, así como la forma de cambio (o tasa de rampa y forma), estos valores, la tasa de variación y la forma de cambio pueden

usarse para determinar fallas. Por ejemplo, mientras que un sistema de protección clásico activa una falla cuando detecta una variación del 150 % por encima de la carga después de un tiempo de retardo, el sistema de corriente puede activar un esquema de protección contra fallas para variaciones más pequeñas, como un 5 % por encima de la carga. Además, el sistema de corriente puede activar instantáneamente una falla.

Eliminación de la falla y reenergización

En el caso de cualquier variación fuera de una banda especificada, que indica que el suministro de energía o una demanda de energía no se ajusta a la correspondiente curva de carga preprogramada, el dispositivo 110 de protección puede activarse para desenergizar el sistema. Alternativamente, el dispositivo 110 de protección puede desenergizar el sistema enviando una señal a otros dispositivos para que se disparen. El dispositivo 110 de protección puede implementarse usando interruptores o relés de semiconductores que habilitan o deshabilitan el flujo de corriente. Tras la pérdida de voltaje de la red de suministro durante un breve período de tiempo, se abre el aislamiento 132 y 172 de la red de carga. El dispositivo 110 de protección puede reenergizar el sistema 100 sin cargas conectadas.

Al detectar el voltaje, los dispositivos 132 y 172 de aislamiento en las redes 120 y 160 de carga pueden cerrarse en secuencia mediante una señal de control o mediante un algoritmo incorporado. Si un dispositivo de protección se cierra y el sistema 100 detecta un desequilibrio, el dispositivo 110 de protección puede dispararse y la secuencia de cierre del dispositivo de protección puede comenzar de nuevo, pero esta vez con el segmento de falla permaneciendo aislado a través de la lógica integrada.

En una realización, los controladores 130 y 170 de carga en las redes de carga pueden programarse para retrasar el inicio del intercambio de energía entre la red de carga y la red de suministro. La demora da tiempo suficiente para una reenergización simple y de baja corriente de la línea sin carga, como se describe anteriormente, y también permite que el sistema identifique fácilmente si la falla se ha solucionado. El dispositivo 110 de protección puede detectar que la falla ha desaparecido cuando la red de carga no consume energía durante el retardo de reenergización. Sin embargo, el dispositivo 110 de protección puede detectar que la falla no se ha solucionado cuando la red de carga consume corriente de falla durante el retardo de reenergización.

Durante la reenergización, el sistema 100 se puede limpiar sin impacto en la red 102 de suministro debido a la fuente 108 de alimentación que mantiene la energía en caso de que se desconecte una red de carga, y sin impacto en las redes 120 y 160 de carga debido a la respectivas unidades 128 y 168 de almacenamiento de energía que proporcionan energía a las respectivas cargas 140 y 180 en caso de que una o ambas redes 120 y 160 de carga estén desconectadas de la red 102 de suministro. En otras palabras, la fuente de energía puede continuar operando, suministrando su energía a otros elementos y las redes 120 y 160 de carga pueden continuar operando suministrando energía almacenada en las respectivas unidades 128 y 168 de almacenamiento de energía a las respectivas cargas 140 y 180.

El dispositivo de protección

La Figura 7 muestra un diagrama de bloques del dispositivo 700 de protección conectado a la línea 712 principal y las redes de carga, o prosumidores, 714. Las redes 120 y 160 de carga integran almacenamiento de energía y en muchos casos generación renovable de manera que el cambio de corriente demandada o proporcionada a través del dispositivo de protección es limitado y conocido.

El dispositivo de protección incorpora una unidad 702 sensora que puede detectar corriente y/o voltaje para medir, con un gran ancho de banda, la corriente que va a las redes 120 y 160 de carga. Los dispositivos necesitan un gran ancho de banda para permitirles detectar transitorios en la corriente o el voltaje a frecuencias más altas que las frecuencias durante el funcionamiento normal. La medida de corriente puede enviarse a un controlador 704, que puede incluir un procesador y una memoria, que calcula la derivada de la corriente, que representa la tasa de variación de la corriente. El controlador 704 puede programarse con tasas de rampa de corriente máximas monitorizadas por el limitador 718 di/dt que son indicativas de una operación normal. El controlador 704 puede comparar la tasa calculada de cambio de corriente, o la derivada del cambio de corriente, basándose en las mediciones con las tasas de rampa máximas de corriente. Si la tasa de variación medida está fuera del rango normal, el controlador 704 puede abrir una desconexión 706 rápida, como las que se basan en dispositivos semiconductores o relés de estado sólido, e interrumpir el flujo de corriente. El controlador 704 también puede activar un dispositivo de energización de baja corriente y respuesta lenta, tal como un dispositivo de energización (por ejemplo, un relé o semiconductor) 708, para energizar la línea previamente fallada. En otras realizaciones, el relé 708 de activación puede ser, alternativamente, un semiconductor u otros dispositivos conocidos en la técnica. La corriente que fluye a través del relé 708 de energización puede estar limitada por un dispositivo 710 limitador de corriente, por ejemplo, una resistencia. Dependiendo de la corriente que fluye a través del sensor 702 de corriente cuando se activa el dispositivo 708 de energización, el controlador 704 puede decidir si se ha solucionado el fallo.

El controlador 704 puede incorporar una plataforma de comunicación con un controlador externo que permite cambiar los ajustes para la tasa de variación de corriente normal y anormal. La reenergización de la línea podría programarse automáticamente, iniciarse manualmente o iniciarse de forma remota a través del enlace de comunicación. Un

dispositivo 710 limitador de la rampa de corriente de falla que puede ser un inductor que se puede insertar en serie con la desconexión 706 rápida para limitar la tasa de variación de la corriente o voltaje de falla. La adición de inductores al sistema va en contra de la lógica de corriente, que busca eliminar la inductancia porque limita la tasa de cambio. En el sistema divulgado, sin embargo, el sistema está diseñado para mantener baja la tasa de cambio. En consecuencia, se pueden introducir inductores para retrasar los picos de corriente rápidos que normalmente ocurren durante las fallas de la línea de CC. Esto permite que se empleen fusibles y otros mecanismos de protección con capacidades nominales de corriente más bajas, que suelen ser más económicas y seguras que las alternativas de corriente más alta. Las protecciones de sobrecorriente clásicas también se pueden incluir en el dispositivo para una protección adicional o para responder si falla la protección.

Inversores inteligentes

En otra realización, la red incluye un inversor inteligente que protege el equipo alimentado desde la salida de CA del inversor al mejorar la velocidad de operación y aumentar la cantidad y los tipos de fallas que se pueden detectar y eliminar, incluidas las fallas que no dañarían el inversor pero que podrían resultar en daños a equipos externos o condiciones inseguras para los usuarios. El sistema inversor inteligente descrito detecta y/o mide la salida de CA del inversor para analizar si se ha producido una falla y luego puede controlar el inversor y otros dispositivos en la red eléctrica para proteger la red eléctrica y cualquier dispositivo conectado a ella de daños por fallas.

En una realización, el inversor inteligente incluye un procesador y un dispositivo de almacenamiento que pueden realizar el análisis necesario para analizar la corriente y apagar el inversor cuando ocurre una falla. En otra realización, el inversor se puede conectar a una unidad de control con un procesador y un dispositivo de almacenamiento. La unidad de control realiza el análisis necesario para analizar la corriente y apagar el inversor. Ambas realizaciones también pueden comunicarse con otros dispositivos en la red eléctrica, como un disyuntor o una caja de fusibles para activar otros protocolos de protección de la red eléctrica cuando ocurre una falla.

El inversor

En la industria se conocen varias formas de inversores. La presente invención puede utilizar una unidad de control añadida a un inversor para monitorizar la salida del inversor y controlar el inversor cuando se detecta un fallo.

La figura 8 es un diagrama que ilustra un ejemplo de un inversor 802 que puede usarse en este sistema. También se conocen otras configuraciones para el inversor y pueden lograr la invención. El inversor 802 incluye una entrada 804 para recibir un suministro de CC. El suministro de CC fluye hacia un interruptor 806 que alterna entre al menos dos caminos para que fluya la energía de CC. Estos dos caminos fluyen hacia los componentes magnéticos 808 para inducir un flujo de suministro de CA. Ese flujo de suministro de CA es una salida del filtro 810 con propiedades de suministro de CA típicas, como corriente y voltaje, que se pueden medir dentro del inversor 802 o cuando el flujo sale del inversor 802.

El conmutador 806 puede adoptar diversas formas, como se conoce en la técnica. Por ejemplo, una versión electromecánica permite que el interruptor 806 se conecte a dos puntos de contacto donde el interruptor 806 está cargado hacia un punto de contacto por un resorte. Un electroimán está conectado al primer contacto y tira del interruptor hacia el segundo contacto. Cuando el interruptor 806 llega al segundo contacto, la corriente al electroimán se interrumpe y el electroimán se apaga, permitiendo que el resorte mueva el interruptor 806 de regreso al primer contacto. Esto permite que el interruptor 806 alterne rápidamente entre los dos puntos de contacto, enviando flujo a través de los dos caminos para crear el suministro de CA. También se pueden utilizar otras configuraciones para el conmutador 806 conocidas en la técnica. Por ejemplo, interruptores de semiconductores, interruptores de transistores, interruptores de tiristores y más.

La divulgación anterior produce una onda cuadrada, pero algunas redes de carga necesitarán una forma de onda sinusoidal suave. En otra realización, el inversor 802 también puede incluir hardware que permite que el inversor cree el suministro de CA como una onda sinusoidal suave u otras formas de onda conocidas en la técnica. Para crear esta forma de onda sinusoidal suave, el inversor puede incluir condensadores, inductores, filtros de paso bajo, filtros resonantes, rectificadores, diodos antiparalelos y otros dispositivos conocidos en la técnica. Este mismo hardware también puede usarse para crear otras formas de onda tales como ondas sinusoidales modificadas conocidas en la técnica.

La unidad de control

En una realización, la unidad 812 de control incluye procesador(es) 814 y dispositivo(s) 816 de almacenamiento de memoria. El (los) dispositivo(s) 816 de almacenamiento de memoria almacena las instrucciones a ser llevadas a cabo por el (los) procesador(es) 814 y los datos necesarios para ejecutar esas instrucciones, tales como parámetros para el funcionamiento normal de la red eléctrica y las condiciones que significan que se ha producido una falla.

El o los procesadores 814 pueden implementarse como uno o más dispositivos de procesamiento conocidos o personalizados diseñados para realizar funciones de los métodos descritos, como procesadores de uno o varios

núcleos capaces de ejecutar procesos paralelos simultáneamente. Por ejemplo, el o los procesadores 814 pueden configurarse con tecnologías de procesamiento virtual. El (los) procesador (es) 814 pueden implementar tecnologías de máquina virtual, incluida una máquina virtual Java u otras tecnologías conocidas para proporcionar la capacidad de ejecutar, controlar, usar, manipular, almacenar, etc., múltiples procesos de software, aplicaciones, programas, etc.

Los dispositivos 816 de almacenamiento de memoria pueden incluir instrucciones para permitir que los procesadores 814 ejecuten programas, como uno o más sistemas operativos, aplicaciones de servidor, procesos de comunicación y cualquier otro tipo de aplicación o software que se sepa que está disponible en los sistemas informáticos. Los dispositivos 816 de almacenamiento de memoria pueden implementarse en dispositivos de almacenamiento volátiles o no volátiles, magnéticos, semiconductores, de cinta, ópticos, removibles, no removibles u otro tipo de dispositivos de almacenamiento o medios tangibles o legibles por ordenador (es decir, no transitorios).

En algunas realizaciones, el o los dispositivos 816 de almacenamiento de memoria incluyen instrucciones que, cuando son ejecutadas por el o los procesadores 814, realizan uno o más procesos consistentes con las funcionalidades divulgadas en este documento. Los métodos, sistemas y artículos de fabricación consistentes con las realizaciones divulgadas no se limitan a programas separados u ordenadores configurados para realizar tareas dedicadas.

La figura 9 es un diagrama de flujo que ilustra las etapas de un proceso 900 ejemplar de detección de fallas realizado por el (los) procesador(es) 814 de acuerdo con las realizaciones divulgadas. Sin embargo, las etapas ilustradas por el diagrama de flujo son solo ejemplares, y se pueden agregar o eliminar una o más etapas para implementar el proceso 900 de detección de fallas. Además, las etapas se pueden realizar en cualquier orden que permita al sistema detectar una falla.

En la etapa 910, la unidad 812 de control recibe una salida del inversor 802. Esta salida puede ser la corriente o el voltaje. Alternativamente, la salida del inversor puede ser mediciones de la corriente o voltaje del inversor.

En la etapa 920, los dispositivos 816 de almacenamiento almacenan las salidas del inversor 802 para múltiples puntos en el tiempo. Esto permite que el o los procesadores 814 accedan a datos suficientes para determinar y analizar cómo ha cambiado la salida con el tiempo. Por ejemplo, el o los procesadores 814 podrían determinar los valores absolutos de la corriente a lo largo de un minuto, o la tasa a la que cambia la corriente a lo largo de un minuto, o la diferencia entre las corrientes medidas en diferentes puntos.

En la etapa 930, el o los procesadores 814 analizan la salida del inversor 802 para determinar si se ha producido un fallo. Existen numerosos tipos de fallas que se pueden detectar con este sistema, incluidos GFI, sobrecorriente, voltaje desequilibrado (neutro abierto) y fallas de arco.

Como un ejemplo, una falla GFI puede detectarse analizando el flujo de electricidad que sale del inversor 802 utilizando el voltaje o la corriente. Se puede detectar una falla GFI analizando el flujo de electricidad en un punto donde el inversor se conecta a la carga 140 o 160. En este ejemplo, las fallas a tierra dan como resultado que la corriente fluya desde la salida del inversor 802 a tierra a través de la falla y regrese a través del terminal de conexión a tierra del inversor 802. En condiciones normales, sin fallas, la corriente que fluye a través de la tierra es cero y la suma algebraica de la corriente que fluye a través de los terminales debe ser cero. Sin embargo, cuando ocurre una falla a tierra, la suma se desvía de cero. Si el inversor 802 está provisto de sensores de corriente en todas las líneas eléctricas como se muestra en la figura 8, se pueden sumar las corrientes medidas ($I_{total} = I_A + I_n + I_B$) y si el resultado se aleja de cero, el sistema podría concluir que hay una falla a tierra en algún lugar de la línea de salida. Alternativamente, el inversor 802 puede recibir las mediciones de corriente por un sensor de corriente residual, que mide físicamente la suma de las tres corrientes y la salida del sensor podría usarse para determinar si hay una falla a tierra.

Como otro ejemplo, se puede detectar una falla de arco externo utilizando el hardware del inversor. Tradicionalmente, los detectores de fallas de arco de CA se proporcionan fuera de los inversores y usan sensores separados de los que se usan para el control de potencia del inversor. El inversor 802 puede medir la señal de potencia a través de las salidas como se describe aquí. La unidad 812 de control puede entonces aplicar el procesamiento de señales con algoritmos internos conocidos en la técnica para identificar fallas de arco externo en base a esas mediciones, tales como mediciones de corriente.

Como otro ejemplo, el inversor 802 podría detectar un fallo de neutro abierto entre el inversor 802 y la carga. En algunas realizaciones, el inversor 802 puede producir una señal de potencia de fase dividida, que proporciona dos voltajes sinusoidales desfasados 180 grados. Estos pueden incluir un punto común, o neutro, que permite colocar algunas cargas de línea a línea para que reciban el doble de voltaje de fase o reciban el voltaje de fase, mientras que otras están conectadas. Estos tipos de sistemas son comunes en aplicaciones residenciales. En esta realización, el inversor 802 regula independientemente el voltaje de cada una de las dos fases y mantiene el cambio de fase de 180 grados para producir la fase dividida. El uso de configuraciones de fase dividida a veces puede provocar daños en el conductor neutro, creando una falla abierta en el neutro que podría producir sobretensiones en algunas de las cargas conectadas entre la fase y el neutro.

En algunas realizaciones, el inversor podría usarse para detectar un fallo de neutro abierto. Una característica de los sistemas de fase dividida es que la corriente que fluye a través de las dos líneas suele ser idéntica o equilibrada. En este caso, las mediciones de corriente del inversor 802 pueden leer cero corriente en el neutro. Sin embargo, una lectura de cero en el neutro también podría deberse a una falla en el neutro abierto. Si el inversor está provisto de un sensor de corriente neutral y la corriente se vuelve cero ($I_n = 0$), los procesadores 814 en la unidad 812 de control pueden ordenar al inversor 802 que produzca una pequeña desviación en la magnitud o fase del voltaje entre las dos fases (por ejemplo, $V_{An} > V_{Bn}$). En este caso, el voltaje en una fase ahora es ligeramente diferente del voltaje en la otra fase o el ángulo de fase no es exactamente de 180 grados, lo que hace que las cargas previamente balanceadas se desequilibren y produzcan corriente a través del neutro. La unidad 812 de control puede entonces verificar que la conexión neutra todavía está intacta. Si la desviación en el voltaje no produce una corriente neutral medible, la unidad de control puede concluir que hay una falla neutral abierta.

En otras realizaciones, no es necesario medir la corriente neutra. La corriente de neutro se puede calcular alternativamente como la suma algebraica de las corrientes de dos fases ($I_n = I_A + I_B$). En esta realización, el inversor 802 descrito en este documento puede usar este valor calculado en lugar del valor medido para detectar la falla de neutro abierto.

En la etapa 940, los procesadores 814 determinan si ingresar a uno de los modos de protección almacenados en los dispositivos 816 de almacenamiento. El o los dispositivos 816 de almacenamiento pueden almacenar uno o más modos de protección para proteger la red. Uno de estos modos de protección puede ser un apagado de la operación de conmutación 802 del inversor, deteniendo el flujo de corriente CA. Otros modos de protección podrían incluir disparar un disyuntor para detener el flujo de corriente CA o hacer que una caja de fusibles queme un fusible.

En la etapa 950, los procesadores 814 emiten un comando al dispositivo apropiado para ingresar a los modos de protección seleccionados para proteger el sistema 100 de red eléctrica. Por ejemplo, estos comandos se pueden enviar al inversor 802, un disyuntor o una caja de fusibles.

En una realización, la unidad de control incluye un sensor que mide el suministro de CA del inversor 802. Este sensor puede medir la corriente, el voltaje y/o cualquier otra característica relevante del suministro de CA.

Inversor y unidad de control incorporados juntos

La figura 10 es un diagrama de bloques que ilustra otra realización en la que la unidad de control, incluidos los procesadores 1002, los dispositivos 1004 de almacenamiento de memoria y la plataforma 1006 de comunicación, se incorporan al inversor 1000. En esta realización, tanto el inversor 1000 como la unidad de control funcionan de la misma manera que el inversor 802 y la unidad 812 de control descritos anteriormente.

Ventajas/Usos

Esta técnica es diferente de los enfoques tradicionales que se basan en un gran flujo de energía hacia la falla para iniciar la acción protectora. Más bien, esta técnica utiliza la previsibilidad de los flujos de corriente para emular un esquema de protección de corriente diferencial multiterminal. Cualquier flujo de corriente que se desvíe de las curvas de carga preprogramadas indica un voltaje o corriente del sistema que no corresponde a los perfiles de voltaje o corriente previstos esperados. Debido a que las fuentes de energía activa limitadas por la corriente no proporcionarán corriente para disparar los disyuntores o quemar los fusibles, las fallas de alta resistencia y los arcos en línea pueden pasar desapercibidos en los sistemas de red eléctrica convencionales. Las condiciones de falla no son consistentes con los perfiles de voltaje y corriente esperados en las realizaciones de la invención y, por lo tanto, el sistema 100 dispararía y aislaría el problema. Este enfoque de detección de fallas proporciona una respuesta más rápida a las condiciones de falla con mejor confiabilidad, menos daño y mayor seguridad en relación con los sistemas de energía convencionales y otras técnicas de energía de CC sin requerir comunicación con otros componentes del sistema 100 de red eléctrica y sin requerir detección de corriente por parte de otros dispositivos de medición de corriente en terminales remotos.

Para mejorar la economía y la seguridad del sistema 100 como un todo, la batería de carga y su inversor de energía pueden configurarse para reemplazar la medición tradicional y la protección del panel principal en la red de carga. Las realizaciones de la invención aprovechan la alta tasa de conmutación de un inversor de potencia mediante el uso de circuitos de detección de corriente y relés de estado sólido para reemplazar los disyuntores de circuito de panel tradicionales. Cuando se detecta una situación de falla, el inversor de energía se desactiva instantáneamente y el circuito apropiado se aísla al abrir el relé, para que el inversor de energía pueda volver a funcionar de manera segura. La seguridad de la protección contra fallas a tierra del sistema completo se puede aumentar utilizando un diseño de este tipo.

Existen realizaciones adicionales que aplican los principios de esta invención a sistemas que van desde el control de energía a nivel de aparato hasta el control de energía de un solo edificio y el control de toda la red eléctrica. Cualquier sistema configurado para usar almacenamiento o fuentes de energía adicionales para eliminar la necesidad de flujos

aleatorios a través de la red puede implementar los principios divulgados. Por ejemplo, cuando el sistema se implementa en un hogar y la carga es completamente de CC, el almacenamiento de energía puede distribuirse dentro del hogar y ser suministrado por el controlador de CC utilizando voltajes lo suficientemente bajos como para eliminar la necesidad de accesorios conectados a tierra, lo que reduce el coste de instalación significativamente. Sobre la base del concepto de alimentación a través de Ethernet y la técnica descrita anteriormente de suministro de energía constante para cargar redes con almacenamiento, el sistema puede incorporar almacenamiento de energía a pequeña escala en cada dispositivo que consuma más de 100 vatios pico (u otro nivel estándar). Un aparato puede ser más eficiente si funciona constantemente con cargas más bajas (por ejemplo, un refrigerador con un motor y un compresor que son demasiado grandes si funciona solo la mitad del tiempo), o si un almacenamiento de energía dedicado se carga con un suministro constante bajo y extraído cuando el aparato está en funcionamiento.

Algunas implementaciones se han descrito en detalle anteriormente, y son posibles diversas modificaciones. Por ejemplo, en implementaciones donde las características de una fuente de energía son predecibles y consistentes, una red de suministro puede no incluir un controlador de almacenamiento y una unidad de almacenamiento de energía como un búfer de energía. De manera similar, en implementaciones donde las características de una carga son predecibles y consistentes, una red de carga puede no incluir un controlador de almacenamiento y una unidad de almacenamiento de energía como un búfer de energía. Si bien las implementaciones descritas se centran en los sistemas de CC, estas implementaciones también pueden aplicarse a los sistemas de CA.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema que comprende:

5 al menos una porción de una red (1202) de suministro de CC;

un almacenamiento (128, 168, 1228, 1268) de energía en una red (120, 160, 1220, 1260) de carga;

10 un controlador (130, 170, 1230, 1270) de carga configurado para controlar, de acuerdo con una curva de carga preprogramada, el flujo de corriente con un nivel de corriente de I_1 de la red de suministro a la red de carga almacenando o extrayendo energía del almacenamiento de energía para mantener el flujo de corriente controlado de acuerdo con la curva de carga preprogramada, la red de carga proporciona energía a una o más cargas (140, 180, 1240, 1280) de al menos una porción de la red de suministro; y caracterizado por

15 un sistema (110, 1110) de protección configurado para aislar la al menos una porción de la red de suministro del controlador de carga en respuesta a un valor de corriente que sea mayor que una banda centrada en la curva de carga preprogramada o menor que la banda centrada en la curva de carga preprogramada, donde el valor de corriente está entre un valor máximo y un valor mínimo de la curva de carga preprogramada.

20 2. El sistema de la reivindicación 1, en el que la red de suministro comprende un controlador (1210) de suministro configurado para mantener un voltaje de suministro de la red de suministro.

25 3. El sistema de la reivindicación 2, en el que la red de suministro comprende además un almacenamiento (1208) de energía, en el que el controlador de suministro está configurado para mantener el voltaje de suministro utilizando el almacenamiento de energía.

4. El sistema de la reivindicación 2 o 3, en el que el controlador de carga comprende:

30 un sensor de voltaje,

un procesador, y

35 una memoria, en la que la memoria incluye instrucciones que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador detecte una falla cuando el voltaje de suministro medido por el sensor de voltaje no sigue un patrón esperado establecido por el controlador de suministro.

40 5. El sistema de la reivindicación 4, en el que el almacenamiento de energía comprende un controlador (126, 166, 1226, 1266) de almacenamiento y un dispositivo de almacenamiento de energía, el controlador de almacenamiento configurado para controlar el almacenamiento o la extracción de energía del dispositivo de almacenamiento de energía.

45 6. El sistema de la reivindicación 5, en el que el controlador de almacenamiento está configurado para comunicarse con el controlador de carga para ajustar una posición en la curva de carga preprogramada en función de la cantidad de energía almacenada en el dispositivo de almacenamiento de energía, opcionalmente en el que el dispositivo de almacenamiento de energía comprende una batería.

7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el controlador de carga está configurado para cambiar los niveles en la curva de carga preprogramada en respuesta a la demanda de una o más cargas.

50 8. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que una o más cargas comprenden un edificio.

9. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el sistema de protección comprende un dispositivo de protección, comprendiendo el dispositivo de protección:

55 una unidad de detección de corriente configurada para medir corriente;

un controlador configurado para comparar mediciones de corriente desde la unidad de detección de corriente con un patrón predeterminado; y

60 una desconexión rápida configurada para recibir una señal del controlador para actuar cuando un patrón de la corriente medida es inconsistente con el patrón predeterminado, opcionalmente en el que la desconexión rápida comprende un dispositivo de estado sólido.

65 10. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que una o más cargas comprenden un inversor, comprendiendo el inversor:

- Una memoria;
- un procesador; y
- 5 un circuito para convertir la energía de CC a energía de CA,
- en el que el dispositivo de almacenamiento de memoria incluye instrucciones que, cuando son ejecutadas por el procesador, hacen que el procesador del inversor:
- 10 reciba una salida del inversor;
- almacene la salida del inversor para múltiples puntos en el tiempo;
- analice la salida del inversor para múltiples puntos en el tiempo para detectar una o más fallas;
- 15 determine si una o más de las fallas detectadas requieren que el inversor ingrese a uno o más modos de protección;
- y
- emita un comando para hacer que el inversor ingrese a uno o más modos de protección según la determinación.
- 20 11. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el controlador de carga es un primer controlador de carga, el nivel de corriente de I_1 en la red de carga es un primer nivel de corriente de I_1 en una primera red de carga, y la curva de carga preprogramada es una primera curva de carga preprogramada, comprendiendo además el sistema:
- 25 un segundo controlador de carga que controla el flujo de corriente con un segundo nivel de corriente de I_2 en una segunda red de carga desde al menos una porción de la red de suministro de acuerdo con una segunda curva de carga preprogramada.
- 30 12. El sistema de la reivindicación 11, en el que detectar el patrón de corriente que es inconsistente con la curva de carga preprogramada comprende detectar que el patrón de corriente es inconsistente tanto con la primera curva de carga preprogramada como con la segunda curva de carga preprogramada.
13. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12,
- 35 en el que el sistema de protección comprende un componente configurado para limitar la tasa de variación de una corriente de falla, opcionalmente en el que el componente es un inductor.

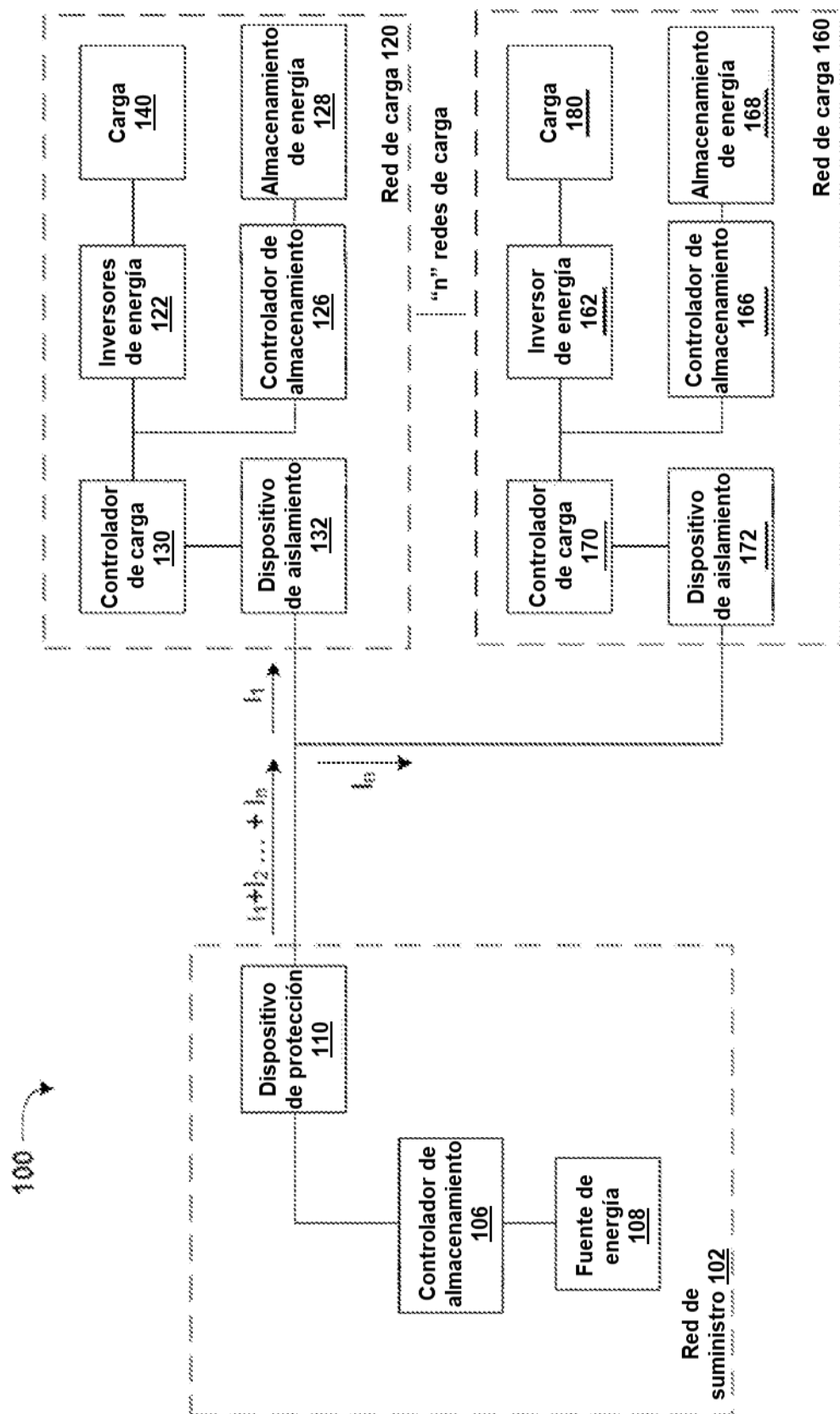


FIG. 1

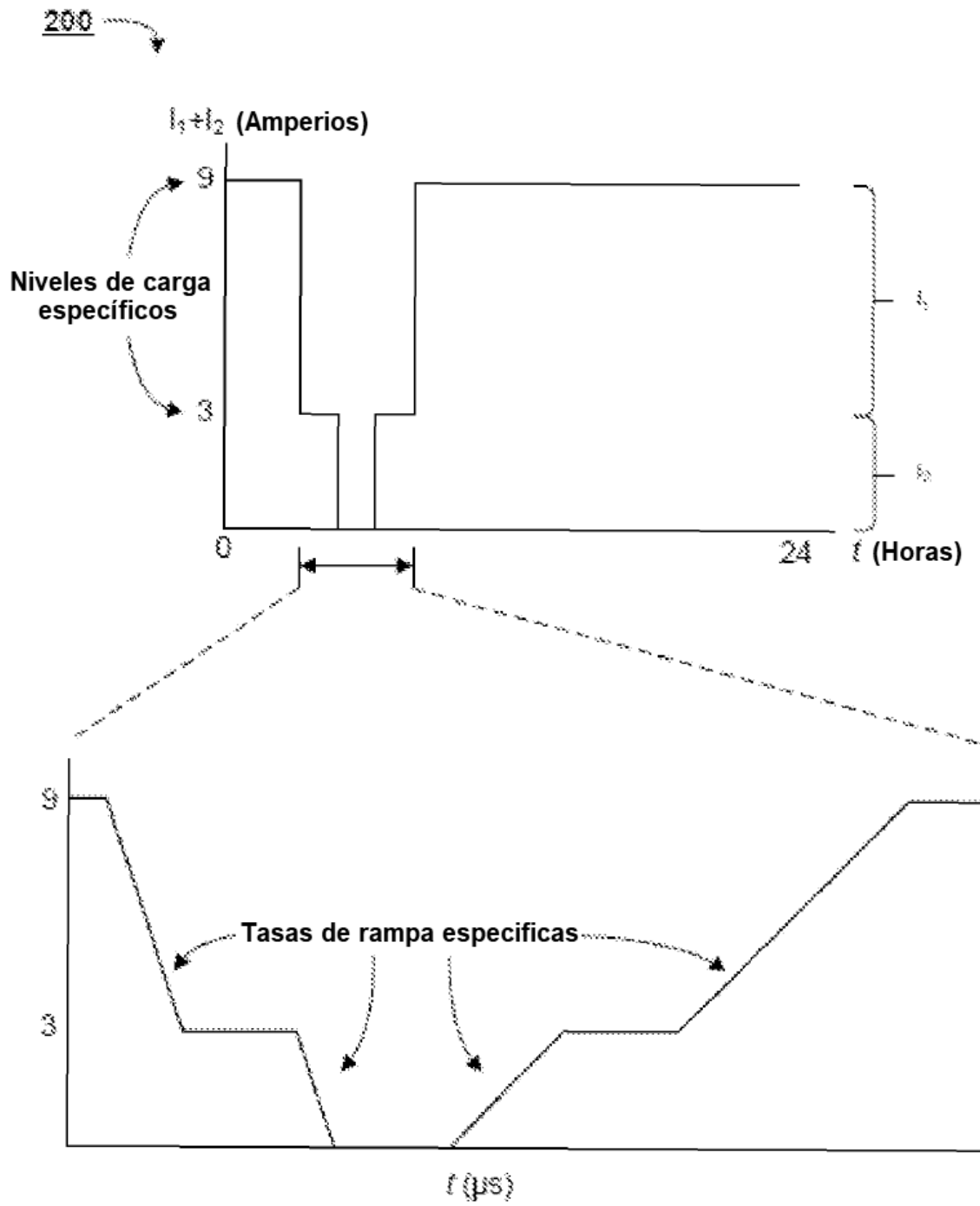


FIG. 2

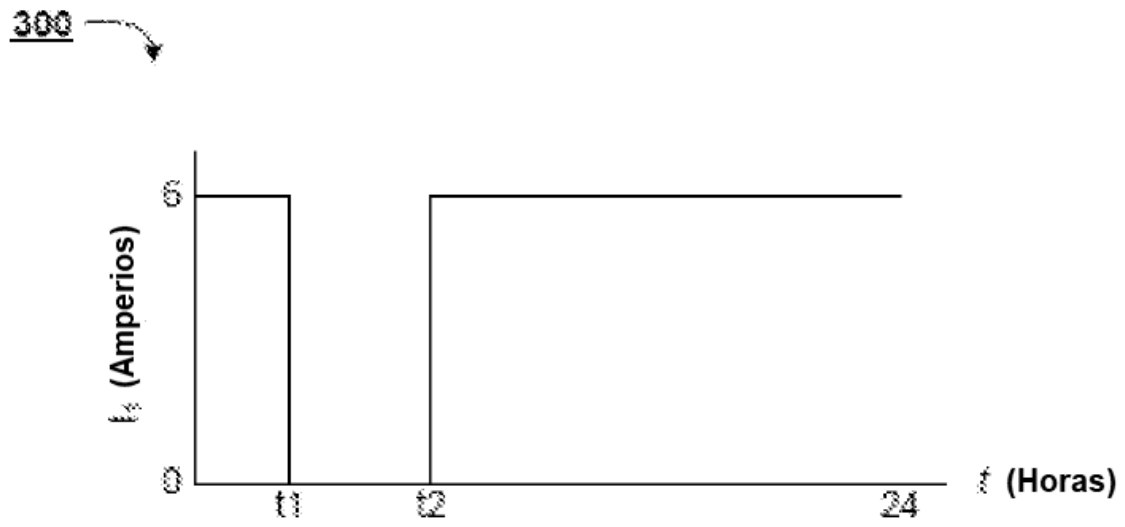


FIG. 3



FIG. 4

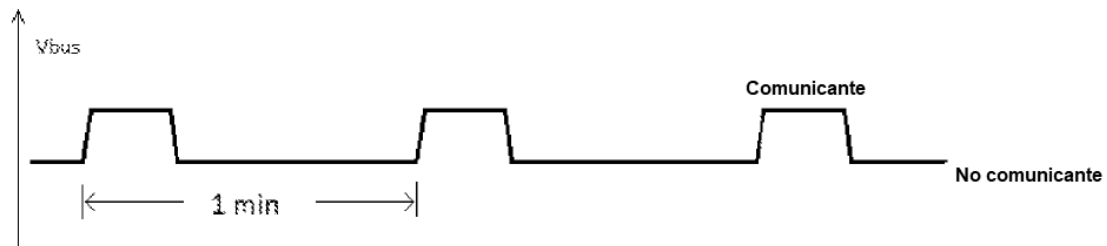


FIG. 5

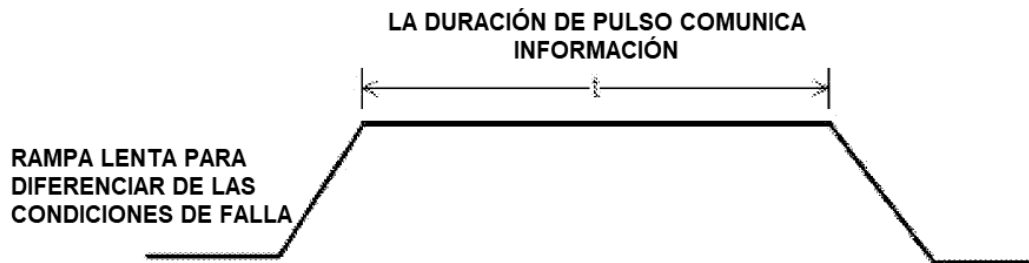


FIG. 6

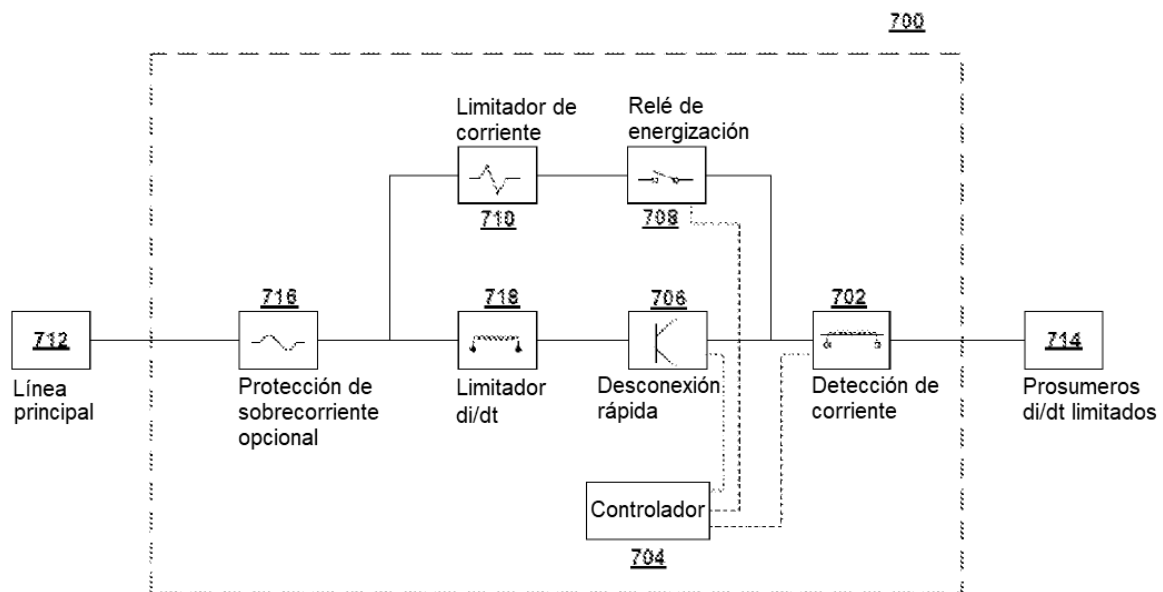


FIG. 7

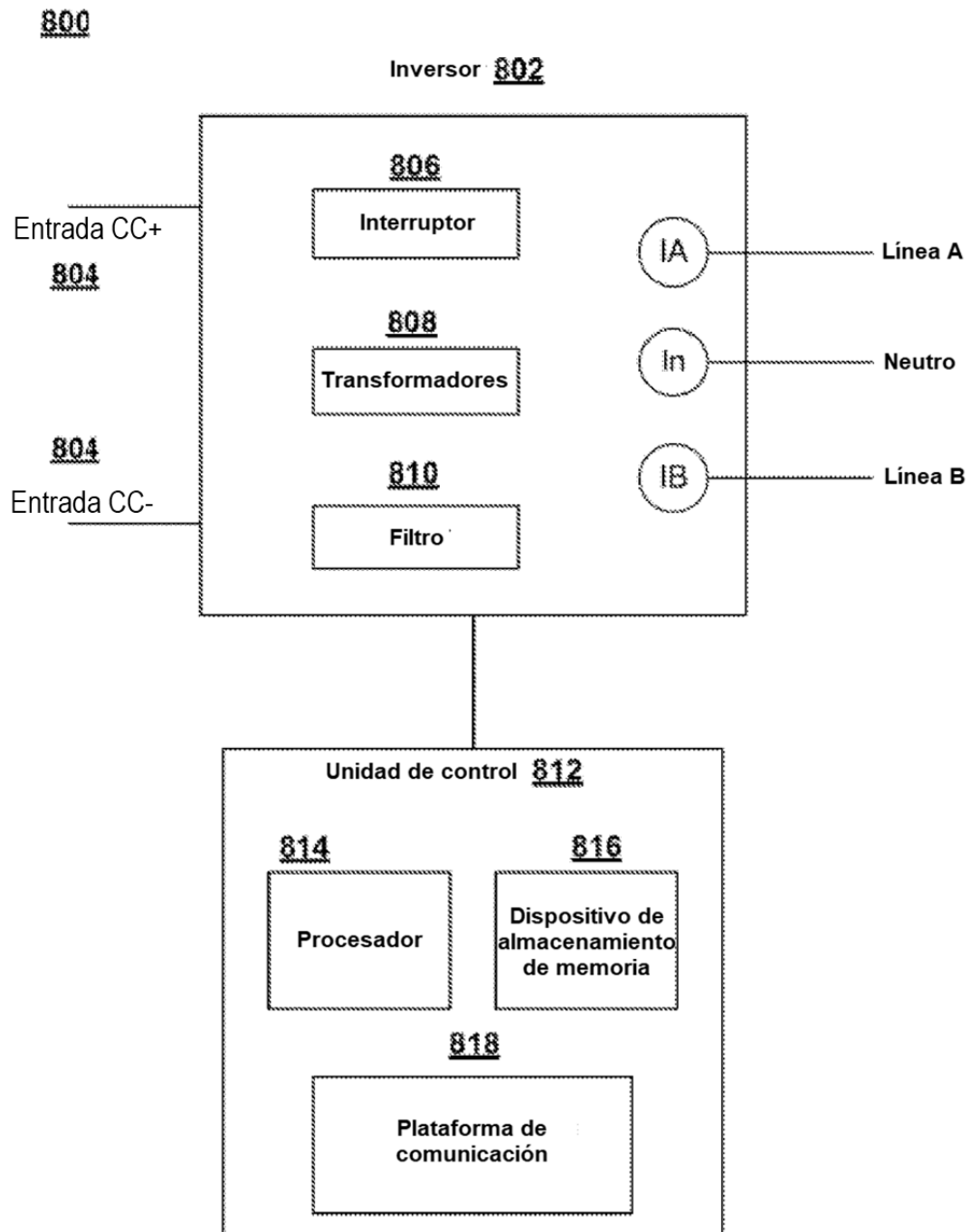
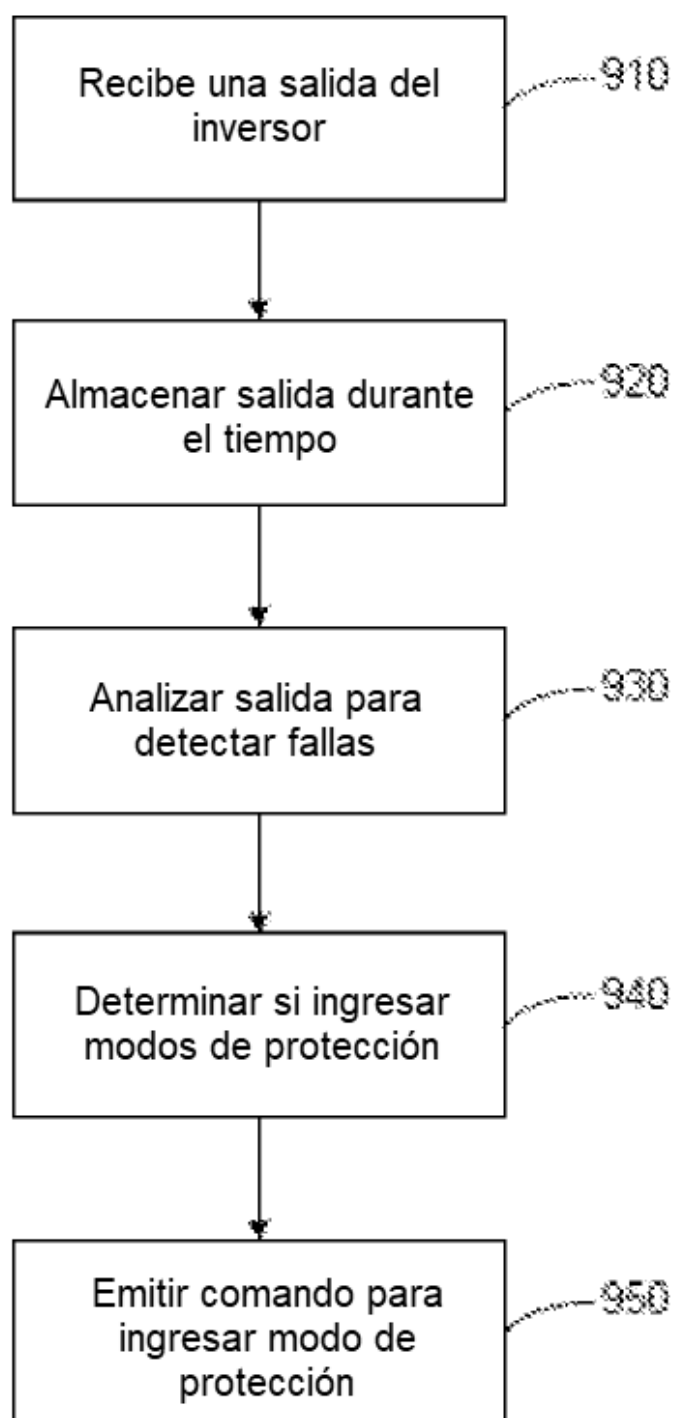


FIG. 8

900**FIG. 9**

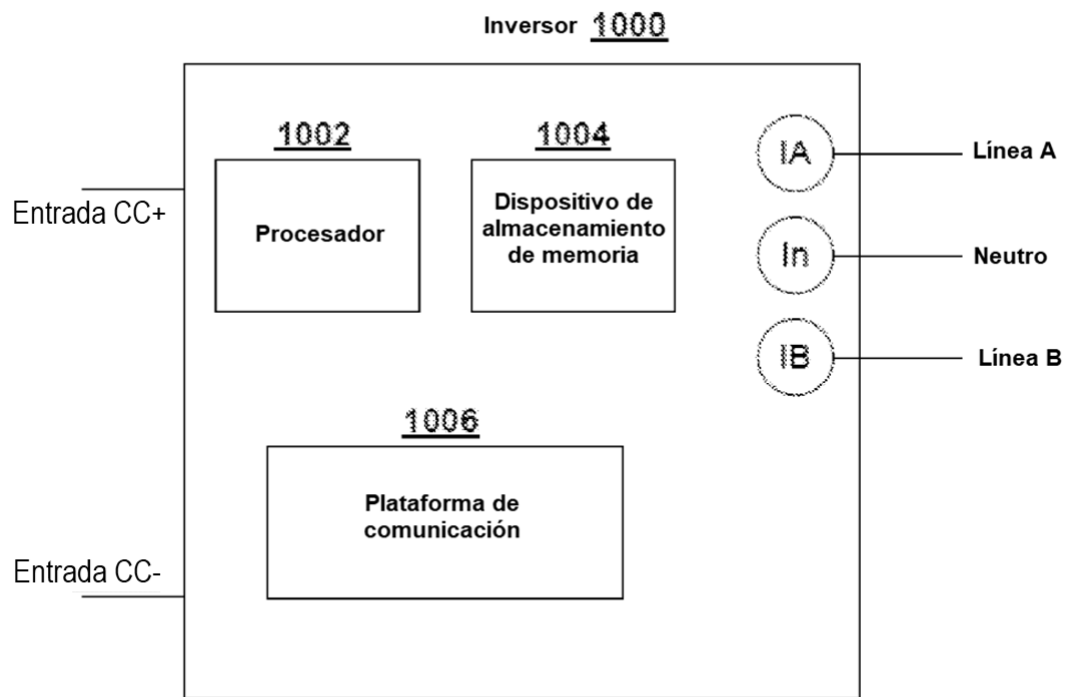


FIG. 10

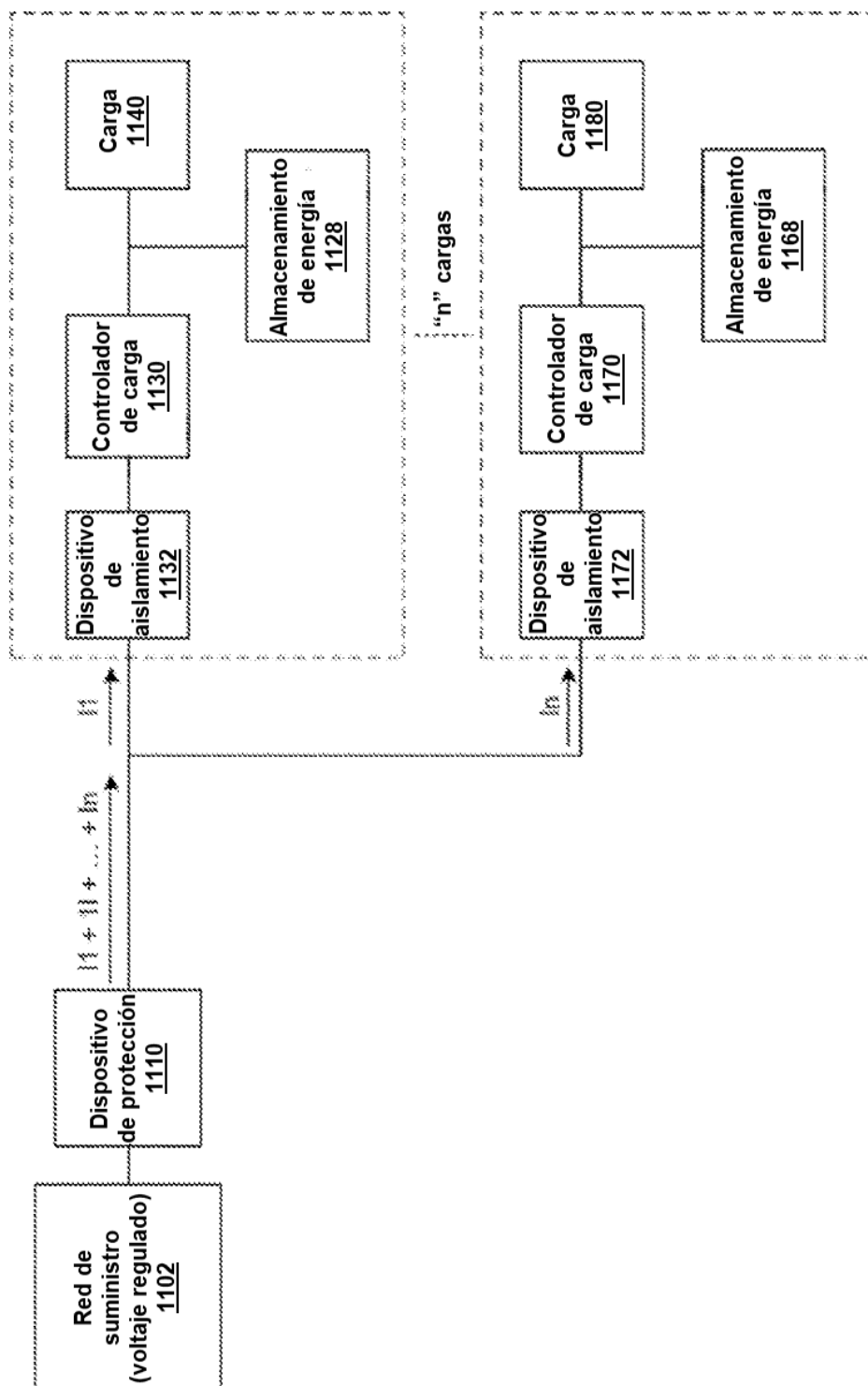


FIG. 11

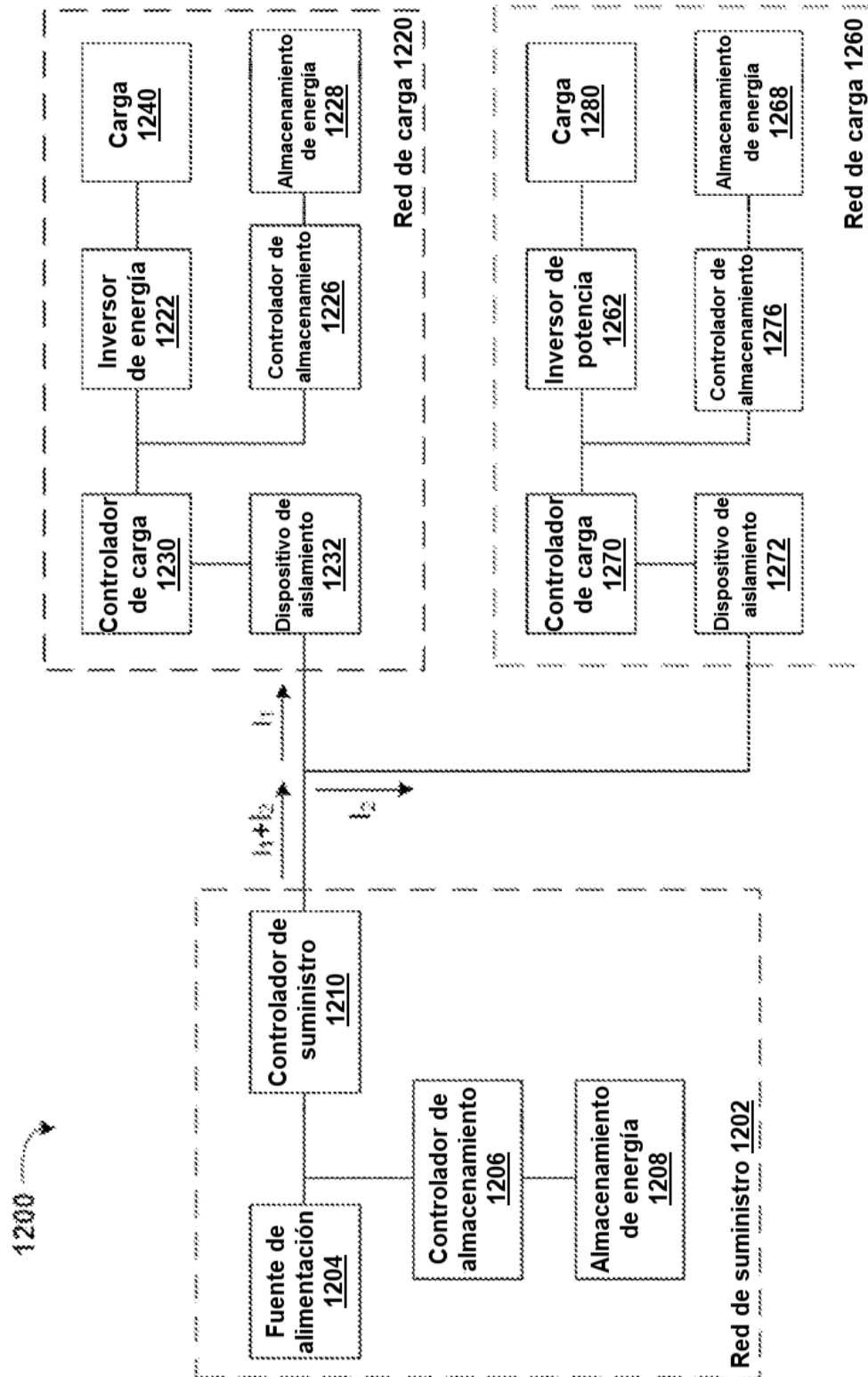


FIG. 12

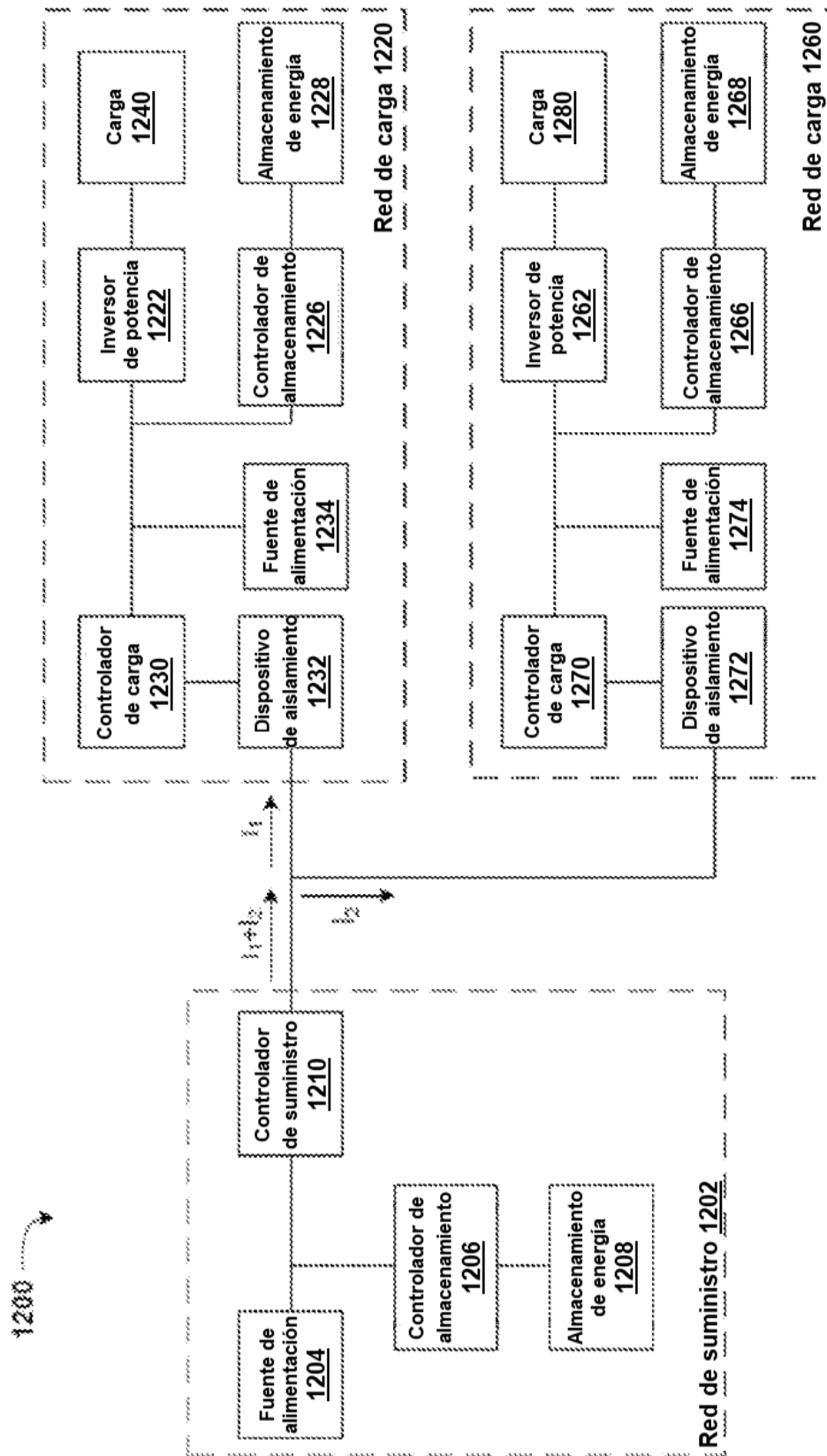


FIG. 13

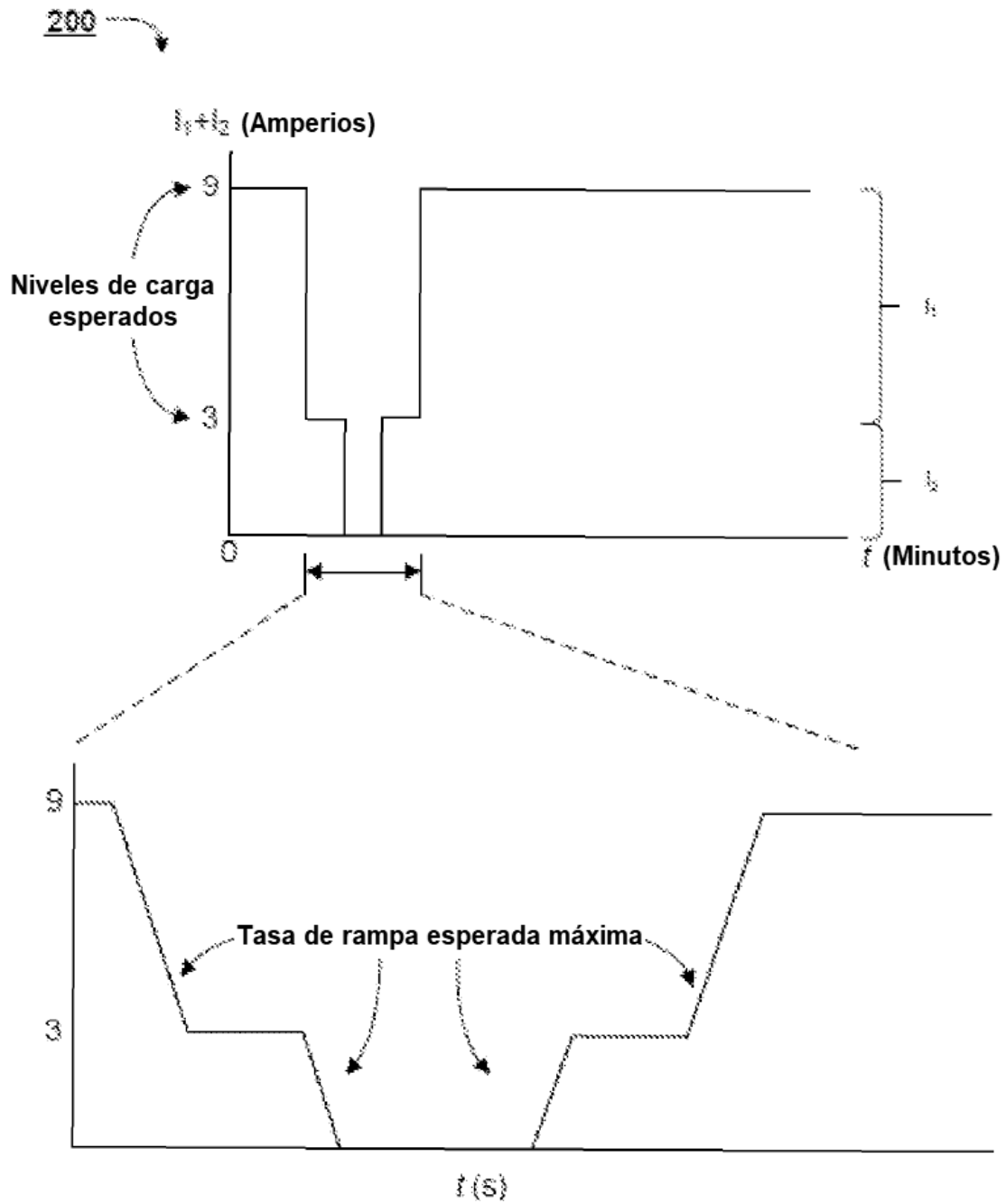


FIG. 14

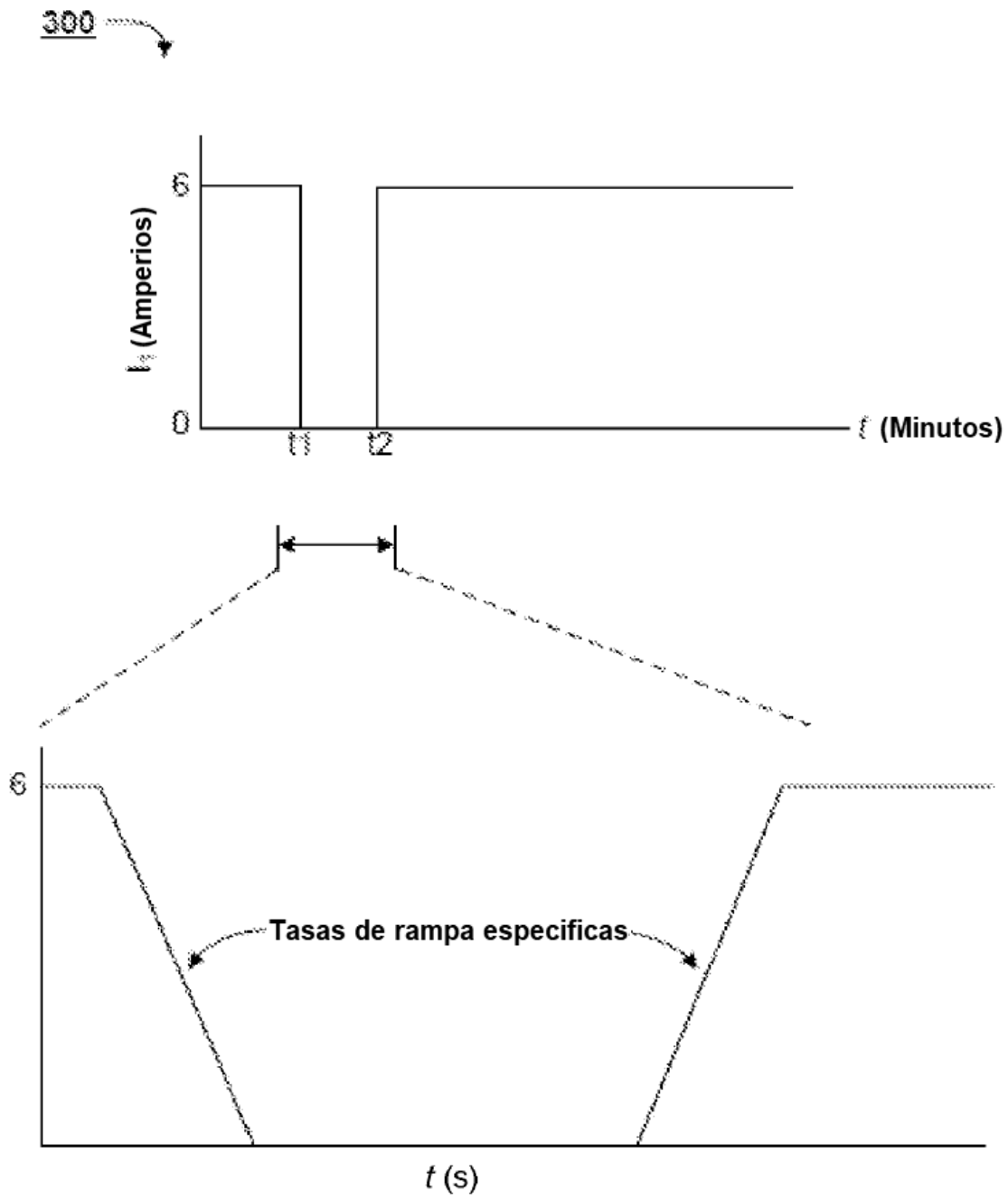


FIG. 15

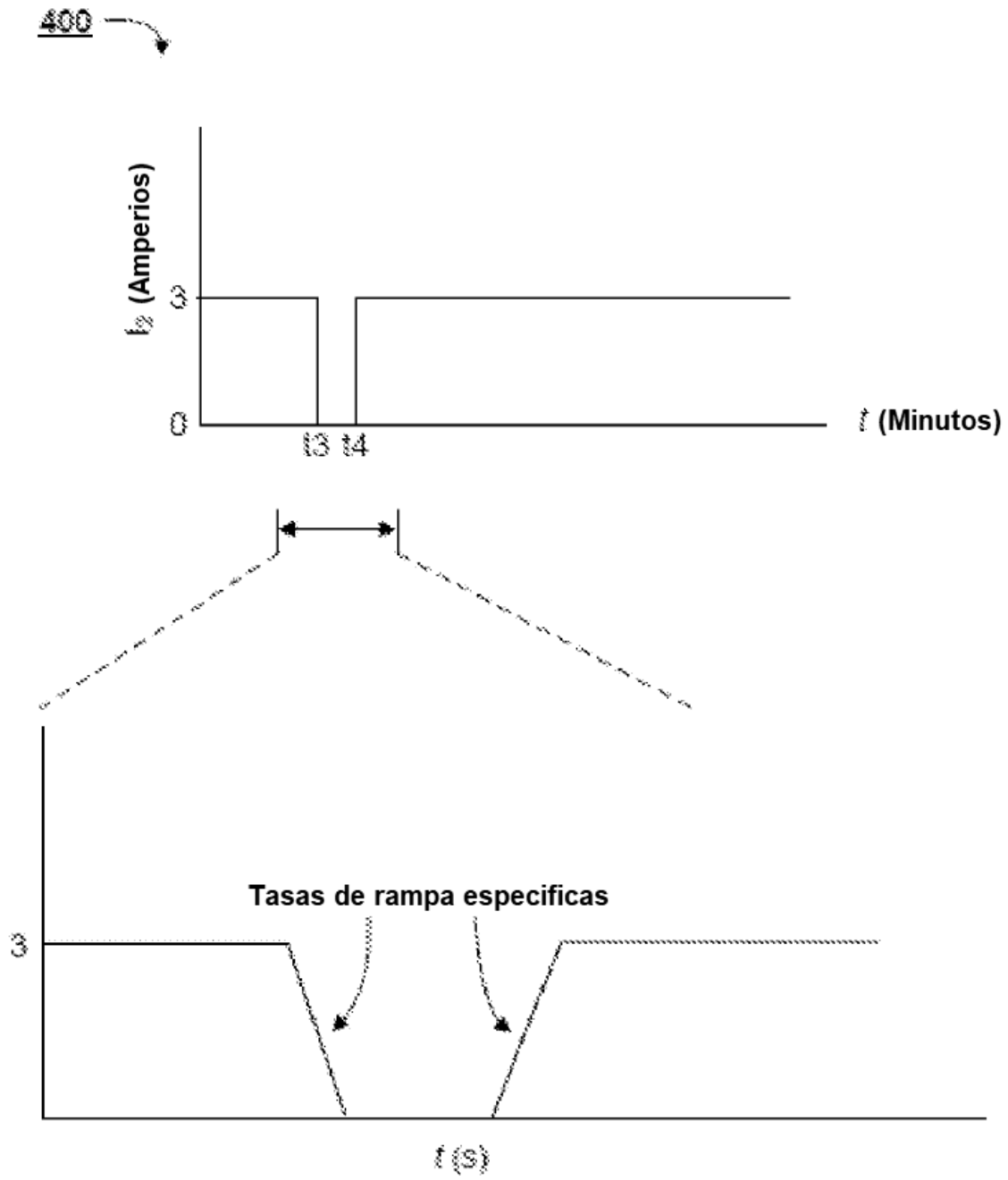


FIG. 16

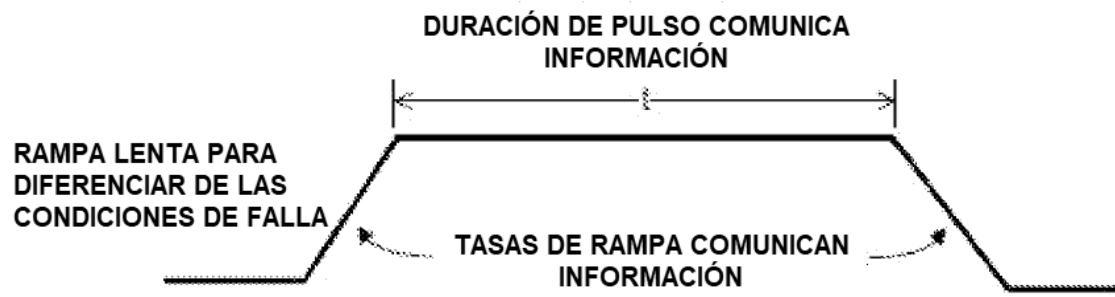


FIG. 17