

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 798 086**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.03.2015 PCT/EP2015/056665**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.10.2015 WO15158525**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.03.2015 E 15716449 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020 EP 3132517**

54 Título: **Respuesta de frecuencia**

30 Prioridad:

15.04.2014 GB 201406791

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

09.12.2020

73 Titular/es:

**REACTIVE TECHNOLOGIES LIMITED (100.0%)
9400 Garsington Road, Oxford Business Park
Oxford, Oxfordshire OX4 2HN, GB**

72 Inventor/es:

HUOMO, HEIKKI

74 Agente/Representante:

VIDAL GONZÁLEZ, Maria Ester

ES 2 798 086 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

Respuesta de frecuencia

5 Campo técnico

La presente invención se refiere al control de la frecuencia de la red en una red de energía eléctrica.

Antecedentes

10

Desde la estandarización de la frecuencia de la electricidad de corriente alterna (CA) en las redes de energía eléctrica a gran escala a mediados del siglo XX en todo el mundo, los consumidores de electricidad han podido disfrutar de un servicio de electricidad constante y confiable, lo que garantiza un uso seguro y reproducible de los electrodomésticos. Por ejemplo, en el Reino Unido, la frecuencia de la red nominal estandarizada se establece en 50 Hz. Para promover la confiabilidad de la frecuencia de la red, los operadores de la red proporcionan intervalos de frecuencia alrededor de la frecuencia nominal de la red fuera de los cuales pueden asegurar a los proveedores de servicios o consumidores que la frecuencia de la red no se desviará. Por ejemplo, mediante el uso de la frecuencia nominal de la red del Reino Unido de 50 Hz, el operador de la red puede intentar que la frecuencia de la red no salga del intervalo de $50 \pm 0,5$ Hz (o ± 1 % de la frecuencia nominal).

15

20

La frecuencia de la red depende en gran medida de la frecuencia de la electricidad producida por los generadores de energía eléctrica conectados a la red. Los generadores de gran capacidad pueden, por ejemplo, consistir en una masa impulsada que incorpora polos magnéticos que giran dentro de una bobina de alambre. Esta masa puede impulsarse, por ejemplo, por el vapor que actúa sobre una turbina, donde el vapor se produce, por ejemplo, por la quema de combustibles fósiles. Al tener en cuenta el número de polos asociados con un generador, la frecuencia de la electricidad producida es proporcional a la velocidad de rotación del generador. Por ejemplo, un generador con 6 polos que giran a 1000 RPM produciría electricidad con una frecuencia de 50 Hz. En otros ejemplos de generación de energía, por ejemplo, aquellos que generan electricidad de corriente continua (CC), tales como los paneles solares, pueden emplearse inversores para proporcionar a la red electricidad de CA a una frecuencia determinada, por ejemplo, la frecuencia nominal de la red.

25

30

En una red donde el suministro y el consumo de energía eléctrica están equilibrados, la velocidad de rotación de los generadores, por ejemplo, puede configurarse de manera que se efectúe, precisamente, una frecuencia de la red a la frecuencia nominal de la red. Sin embargo, si hay un cambio en el equilibrio de potencia, por ejemplo, un aumento repentino de la demanda, la velocidad de rotación de un generador que responde a ese cambio, por ejemplo, para un impulso determinado de la turbina, puede reducirse. Como resultado, la frecuencia de la electricidad generada puede reducirse y, por lo tanto, la frecuencia de la red puede reducirse. Esta situación puede rectificarse al aplicar un mayor impulso a la turbina del generador, pero esto puede llevar un tiempo considerable o, en el caso de que un generador funcione a plena capacidad, puede no ser posible. También puede surgir un desequilibrio repentino de energía, por ejemplo, cuando una estación de energía o un interconector se pierde repentinamente de la red. En el caso de una reducción repentina de la demanda de energía, un generador puede reducir su potencia de salida para devolver la frecuencia de la red a la frecuencia nominal en consecuencia. Igualmente como resultado de una disminución en la demanda, o por ejemplo, si un interconector está exportando energía de la red cuando se pierde, lo que afecta el equilibrio de energía, puede haber un aumento en la velocidad de rotación de un generador y, por lo tanto, provocar un aumento en la frecuencia de la electricidad generada y, por lo tanto, la frecuencia de la red.

35

40

45

Un método existente para abordar los cambios de frecuencia indeseables es hacer funcionar los generadores a capacidad reducida, por ejemplo, la potencia de salida de un generador puede establecerse en el 95 % de la capacidad de salida total del generador. Si hay, por ejemplo, un cambio en el equilibrio de potencia, que resulta en un cambio en la frecuencia de la red, estos generadores pueden responder al proporcionar, dentro de unos pocos o algunas decenas de segundos, una potencia de salida aumentada o reducida en consecuencia.

50

Sin embargo, no es económico ejecutar unidades de generación a un nivel de potencia de salida reducido en previsión de eventos que pueden ser relativamente raros. Además, la velocidad a la que los generadores pueden proporcionar una respuesta puede no ser suficiente para mantener la frecuencia de la red dentro del intervalo especificado, por ejemplo, para eventos particularmente repentinos, para eventos que involucran cambios particularmente grandes en la frecuencia, o para eventos que ocurren en redes relativamente pequeñas tales como las asociadas con naciones insulares tal como el Reino Unido o Nueva Zelanda. La respuesta proporcionada dentro del primer segundo más o menos después del cambio repentino puede tener el mayor impacto en la reducción de los efectos negativos asociados con una desviación de la frecuencia de la red del valor nominal, por ejemplo, daños a grandes máquinas eléctricas.

55

60

Un método adicional para abordar los cambios en la frecuencia de la red es organizar los dispositivos, tales como aparatos eléctricos de usuario, para monitorear la frecuencia de la red en su ubicación y reaccionar a los cambios en la misma de acuerdo con criterios predeterminados. Por ejemplo, en respuesta a una caída repentina en la frecuencia, el consumo de energía eléctrica puede reducirse para contrarrestar tales cambios. El documento WO2011085477A1 proporciona un ejemplo de tal método. Sin embargo, estos enfoques son inflexibles, ya que se limitan a efectuar una

65

respuesta local a un cambio local en el equilibrio de energía. Además, la respuesta colectiva que brindan varias respuestas implementadas localmente es incierta y, por ejemplo, puede dar lugar a una respuesta colectiva excesiva.

5 Un objetivo de las modalidades de la presente invención descritas en la presente descripción es mitigar al menos uno o más problemas de la técnica anterior.

El documento EP1914420A1 se refiere a un método para controlar la potencia de salida de un parque eólico a una red eléctrica.

10 El documento EP1467463A1 se refiere al control de la potencia de salida de un parque eólico.

El documento US2014070617A1 se refiere a métodos de control empleados en sistemas de almacenamiento de energía distribuida.

15 El documento US2011166717A1 se refiere a un método para controlar la energía real suministrada desde una pluralidad de parques eólicos.

Resumen

20 La presente invención proporciona un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 1 y un método para controlar la frecuencia de la electricidad en una red de energía eléctrica de acuerdo con la reivindicación 12. Las modalidades preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes. Un programa informático se define en la reivindicación 13 y un medio legible por ordenador se define en la reivindicación 14.

25 La invención se expone en el conjunto de reivindicaciones adjuntas. Las modalidades y/o ejemplos de la siguiente descripción que no están cubiertos por las reivindicaciones adjuntas se consideran que no son parte de la presente invención.

Breve descripción de los dibujos

30 La Figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra una red de energía eléctrica sincrónica en la que puede implementarse la invención;

La Figura 2a es un diagrama esquemático que ilustra una modalidad ilustrativa de un controlador de unidad de energía para usar con la presente invención

35 La Figura 2b es un diagrama esquemático que ilustra una modalidad ilustrativa de un controlador de unidad de energía para usar con la presente invención;

La Figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra una modalidad ilustrativa de un Nodo de control para usar con la presente invención;

La Figura 4 es un diagrama esquemático que ilustra una red ilustrativa en la que puede implementarse la invención;

40 La Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra las etapas realizadas de acuerdo con una modalidad de la presente invención;

La Figura 6a es un gráfico ilustrativo de la frecuencia de la red monitoreada frente al tiempo, que ilustra un pronóstico ilustrativo de un valor de la frecuencia de la red;

45 La Figura 6b es un gráfico ilustrativo de la frecuencia de la red monitoreada frente al tiempo, que ilustra un pronóstico ilustrativo de un valor de la frecuencia de la red;

La Figura 6c es un gráfico ilustrativo de la frecuencia de la red monitoreada frente al tiempo, que ilustra un pronóstico ilustrativo de un valor de la frecuencia de la red;

La Figura 7a es un diagrama que ilustra una serie de intervalos definidos para una frecuencia monitoreada;

50 La Figura 7b es un diagrama que ilustra cómo una frecuencia monitoreada puede ajustarse con una función polinómica;

La Figura 7c es un diagrama que ilustra cómo una frecuencia monitoreada puede ajustarse con una función polinómica;

La Figura 7d es un diagrama que ilustra cómo una frecuencia monitoreada puede ajustarse con una función polinómica;

La Figura 7e es un diagrama que ilustra cómo una frecuencia monitoreada puede ajustarse con una función polinómica;

La Figura 7f es un diagrama que ilustra cómo una frecuencia monitoreada puede ajustarse con una función polinómica;

55 La Figura 8a es un gráfico ilustrativo de la frecuencia de la red monitoreada frente al tiempo en tres escenarios diferentes;

La Figura 8b es un diagrama que ilustra un programa de control ilustrativo generado de acuerdo con una modalidad de la presente invención;

La Figura 8c es un diagrama que ilustra un programa de control ilustrativo generado de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

60 Descripción detallada

65 El suministro de electricidad desde proveedores tales como las centrales eléctricas, a los consumidores, tales como los hogares y las empresas, típicamente se realiza a través de una red de distribución de electricidad o una red de energía eléctrica. La Figura 1 muestra una red de energía eléctrica ilustrativa 100, en la que pueden implementarse las modalidades de la presente invención, que comprende una red de transmisión 102 y una red de distribución 104.

5 La red de transmisión 102 se conecta a los generadores de energía 106, que pueden ser plantas nucleares o plantas de gas, por ejemplo, desde las cuales se transmiten grandes cantidades de energía eléctrica a tensiones muy altas (típicamente del orden de cientos de kV), sobre líneas eléctricas tales como líneas eléctricas aéreas, a la red de distribución 104.

10 La red de transmisión 102 se une a la red de distribución 104 a través de un transformador 108, que convierte el suministro eléctrico a una tensión más baja (típicamente del orden de 50 kV) para su distribución en la red de distribución 104.

15 La red de distribución 104 se conecta a través de las subestaciones 110 que comprenden transformadores adicionales para convertir a tensiones aún más bajas para redes locales que proporcionan energía eléctrica a dispositivos consumidores de energía conectados a la red de energía eléctrica 100. Las redes locales pueden incluir redes de consumidores domésticos, tal como una red de ciudad 112, que suministra energía a electrodomésticos dentro de las residencias privadas 113 que consumen una cantidad relativamente pequeña de energía del orden de unos pocos kW. Las residencias privadas 113 también pueden usar los dispositivos fotovoltaicos 115 para proporcionar cantidades relativamente pequeñas de energía para el consumo, ya sea por electrodomésticos en la residencia o para suministrar energía a la red. Las redes locales también pueden incluir instalaciones industriales, tal como una fábrica 114, en la que los aparatos eléctricos más grandes que operan en las instalaciones industriales consumen grandes cantidades de energía del orden de varios kW a MW. Las redes locales también pueden incluir redes de generadores de energía más pequeños, tales como los parques eólicos 116 que proporcionan energía a la red eléctrica.

20 Aunque, para ser concisos, en la Figura 1 solo se muestra una red de transmisión 102 y una red de distribución 104, en la práctica una red de transmisión típica 102 suministra energía a múltiples redes de distribución 104 y una red de transmisión 102 también puede interconectarse a una o más redes de transmisión 102.

25 La energía eléctrica fluye en la red de energía eléctrica 100 como corriente alterna (CA), que fluye a una frecuencia del sistema, que puede denominarse como una frecuencia de la red (típicamente 50 o 60 Hz, en dependencia del país). La red de energía eléctrica 100 opera a una frecuencia sincronizada de modo que la frecuencia es sustancialmente la misma en cada punto de la red.

30 La red de energía eléctrica 100 puede incluir una o más interconexiones de corriente continua (CC) 117 que proporcionan una conexión de CC entre la red de energía eléctrica 100 y otras redes de energía eléctrica. Típicamente, las interconexiones de CC 117 se conectan a la red de transmisión de tensión típicamente alta 102 de la red de energía eléctrica 100. Las interconexiones de CC 117 proporcionan un enlace de CC entre las diversas redes de energía eléctrica, de modo que la red de energía eléctrica 100 define un área que opera a una frecuencia de la red dada, sincronizada, que no se ve afectada por los cambios en la frecuencia de la red de otras redes de energía eléctrica. Por ejemplo, la red de transmisión del Reino Unido se conecta a la red sincrónica de Europa continental a través de interconexiones de CC.

35 La red de energía eléctrica 100 también incluye las unidades de energía 119 que pueden consumir energía o proporcionar energía a la red de energía eléctrica 100. Cada unidad de energía 119 tiene asociado un dispositivo para controlar el suministro y/o consumo de energía de la unidad de energía asociada 119 (en la presente descripción denominados "controladores de unidad de energía" (PUC) 118).

40 La red de energía eléctrica 100 también incluye un sistema de medición en la forma de los dispositivos de medición 120 dispuestos para medir la frecuencia de funcionamiento sincrónica de la red (en lo sucesivo denominada como la frecuencia de la red).

45 Los controladores de la unidad de energía 118 pueden proporcionarse por separado y/o instalarse en las unidades de energía 119. Una ventaja de instalar un controlador de unidad de energía en la unidad de energía es que el PUC puede tomar la forma de un dispositivo dedicado, con información almacenada en el mismo que es específica de la unidad de energía instalada en el mismo, lo que reduce así la necesidad de que el PUC sea programable y, por lo tanto, reduce los costos asociados con proporcionar la funcionalidad programable (por ejemplo, una interfaz de usuario). Sin embargo, una ventaja de que un controlador de unidad de energía se proporcione por separado a una unidad de energía es que el PUC puede tomar la forma de un dispositivo programable genérico y aplicarse a cualquier unidad de energía, lo que aumenta así la flexibilidad.

50 Las unidades de energía 119 pueden incluir los generadores de energía 106, aparatos en locales residenciales 113 o locales industriales 114 y/o generadores de energía a pequeña escala tales como las turbinas eólicas 116 o los paneles solares 115.

55 Un controlador de unidad de energía 118 puede asociarse con varias unidades de energía 119. Por ejemplo, en un parque eólico 116, puede ser que aunque hay muchas turbinas en el parque eólico, toda la potencia de salida de las turbinas se suministra a la red a través de una única conexión a la red, en cuyo caso puede haber solo un controlador de unidad de energía 118 asociado con la conexión única.

Aunque, en aras de la simplicidad, solo se muestran siete controladores de unidad de energía 118 en la Figura 1, se entenderá que, en la práctica, la red de energía eléctrica 100 puede comprender cientos o miles de tales dispositivos. Además, se entenderá que aunque, por simplicidad, solo se muestran tres dispositivos de medición 120 en la Figura 1, en la práctica muchos dispositivos de medición 120 pueden operar en la misma red de energía eléctrica sincrónica 100, como se describe con más detalle a continuación con referencia a la Figura 4.

La red de energía eléctrica de la Figura 1 también incluye una modalidad ilustrativa del sistema de control de la presente invención, un Nodo de control (CN) 130, descrito con más detalle a continuación con referencia a la Figura 3, que se comunica con uno o más de los controladores de unidades de energía 118 y uno o más de los dispositivos de medición 120 (un medio de comunicación ilustrativo que se representa esquemáticamente en la Figura 1 por antenas), y puede enviar instrucciones de control a los controladores de unidades de energía 118 para efectuar un cambio en el consumo y/o suministro de energía de las unidades de energía 119 con las que se asocian los controladores 118. Al controlar el suministro y/o consumo de energía de las unidades de energía en una red, puede contrarrestarse un desequilibrio de energía en la red, manifestado en la frecuencia medida. Por ejemplo, si un generador se pierde repentinamente de la red, habrá una deficiencia de suministro, la velocidad de rotación de los generadores que giran con un impulso dado se reducirá en respuesta al aumento relativo de la carga, la frecuencia de la electricidad así producida se reducirá en consecuencia, y así también se reducirá la frecuencia de la red. Sin embargo, si las unidades de energía se controlan para reducir su consumo o aumentar su suministro, entonces el aumento relativo de la carga experimentado por los generadores puede mitigarse, por ejemplo, y el desequilibrio en el suministro y consumo de energía puede mejorarse, al reducir el impacto en la frecuencia de la red.

La Figura 2a muestra una representación esquemática de un controlador de unidad de energía ilustrativo (PUC) 118, conectado a una unidad de energía 119 que se conecta a la red de energía eléctrica sincrónica 100. En esta modalidad ilustrativa, el PUC 118 comprende una interfaz de comunicaciones de entrada/salida (E/S) 202, un procesador 204 y un almacenamiento de datos 208. El PUC 118 se dispone para controlar el funcionamiento de la unidad de energía 119 con la que se asocia. La interfaz de E/S 202 se dispone para recibir información, por ejemplo, información que representa las instrucciones de control de un CN 130, a través de una red de comunicaciones fija o inalámbrica, que puede incluir uno o más del Sistema global para comunicaciones móviles (GSM), Sistema de telecomunicaciones móviles universal (UMTS), Evolución a largo plazo (LTE), acceso inalámbrico fijo (tal como IEEE 802.16 WiMax) y redes inalámbricas (tal como IEEE 802.11 WiFi). Un medio de comunicación ilustrativo se representa esquemáticamente en la Figura 2a por la antena 203 conectada a la E/S 202. La red de comunicaciones puede consistir en una combinación de medios de comunicación fijos e inalámbricos. La red de comunicaciones puede comprender redes de malla, por ejemplo, una red de malla ZigBee. Por ejemplo, en una red de comunicaciones que comprende tal red de malla, un CN 130 puede comunicarse con un primer PUC 118 a través de uno o más otros PUC 118 de la malla. La red de comunicaciones puede comprender una pluralidad de redes de malla, por ejemplo, cada una que distribuye instrucciones de control a los PUC 118 en las proximidades de un PUC 118 conectado, por ejemplo, a una red de comunicaciones fija.

La información recibida en la interfaz de E/S 202 puede procesarse por el procesador 204 y almacenarse en el almacenamiento de datos 208.

El procesador 204 puede disponerse para convertir la información recibida en instrucciones de control que la unidad de energía asociada 119 es capaz de interpretar e implementar, como se describe a continuación.

El almacenamiento de datos 208 puede almacenar la información de perfil relacionada con la unidad de energía 119 con la que se asocia. Esta información puede, por ejemplo, comprender información relacionada con un número de identificación de la unidad de energía asociada 119, un estado de disponibilidad de la unidad, una indicación geográfica de la unidad o ubicación de la red, un historial de control de la unidad, una tasa de remuneración asociada con el uso de la unidad, o un horario de uso planificado de la unidad. La información de perfil también puede comprender información relacionada con una o más características de consumo y/o suministro de energía de la unidad de energía 119 con la que se asocia el PUC 118, que, por ejemplo, puede comprender una capacidad de suministro, una capacidad de consumo, un tiempo de respuesta característico, una función de respuesta característica o un estado de suministro o consumo.

La información almacenada en el almacenamiento de datos 208 puede comunicarse hacia y/o desde el PUC 118, por ejemplo, desde y/o hacia un CN 130 a través de la E/S 202. La capacidad de comunicación bidireccional puede ser ventajosa porque un cambio en la información de perfil almacenada en el almacenamiento de datos 208 del PUC 118, por ejemplo, un cambio en el estado de disponibilidad, puede comunicarse al CN 130 que luego puede actualizar la información de perfil que almacena. Por el contrario, además de que el PUC recibe instrucciones de control del CN, el CN también puede comunicar la información de perfil al PUC para que pueda actualizar sus registros, por ejemplo, la información de perfil con respecto a un número de identificación o una asignación de grupo.

Al tener en cuenta la información almacenada en el almacenamiento de datos 208, el procesador puede interpretar una instrucción de control genérica recibida en la E/S 202, e implementar el control de la unidad de energía 119 específico de la unidad de energía 119. Por ejemplo, la E/S 202 del PUC 118 puede recibir una instrucción de control genérica con el efecto de que las "unidades de energía de clase X con indicador de ubicación Y reduzcan el consumo al Z % de su

capacidad de consumo", y puede implementarse, o de hecho no implementarse, por el PUC 118 de acuerdo con la información en el almacenamiento de datos 208.

Las instrucciones de control específicas pueden enviarse y recibirse por una E/S 202 de un PUC 118 específico, y el procesador puede implementar la instrucción sin referencia a la información de perfil almacenada en el almacenamiento de datos. Por ejemplo, esto puede tomar la forma de un mensaje de difusión que contiene, por ejemplo, un encabezado que especifica la unidad de energía para la cual se destina la instrucción, por ejemplo, mediante el uso de un número de identificación único para cada unidad de energía o grupo de unidades de energía, y cada unidad de energía o grupo de unidades de energía solo responde a las instrucciones de control cuyo encabezado contiene su número de identificación único o de grupo. Los mensajes de difusión pueden ser ventajosos porque el ancho de banda de comunicaciones entre un CN y los PUC requeridos puede ser relativamente estrecho, ya que necesitan transmitirse relativamente pocas instrucciones separadas. La difusión también puede ser ventajosa en escenarios donde la comunicación por otros medios, por ejemplo a través de redes informáticas existentes, es costosa o no es posible, por ejemplo, en ubicaciones remotas.

La instrucción de control específica también puede tomar la forma de una instrucción de control que se envía específicamente a cada unidad de energía, por ejemplo, cada unidad de energía puede tener su propia dirección de Protocolo de Internet (IP), y las instrucciones de control específicas pueden enviarse a la dirección IP específica asociada con la unidad de energía para la cual se destinan las instrucciones de control. Una ventaja de enviar instrucciones de control específicas enviadas específicamente a cada PUC es que reduce el requisito de que los PUC escuchen e interpreten las instrucciones de control, y puede aprovechar las redes de conmutación de paquetes existentes que tienen anchos de banda relativamente grandes. El canal de comunicaciones para recibir instrucciones de control específicas también puede usarse para que el PUC se comunique con el CN, por ejemplo, al enviar actualizaciones de su información de perfil.

La Figura 2b muestra una modalidad ilustrativa alternativa de un PUC 118', que comprende una interfaz de comunicaciones de entrada/salida 202' conectada a una antena 203', un procesador 204', un almacenamiento de datos 208' y un regulador de energía 206'. En esta modalidad, la unidad de energía 119 se conecta a la red de energía eléctrica sincrónica 100 a través del regulador de energía 206'. El PUC 118' puede funcionar sustancialmente de la misma manera que el PUC 118 de la Figura 2a, excepto que, en lugar de que el procesador 204 controle el funcionamiento de la unidad de energía asociada 119 para efectuar un consumo y/o suministro de energía desde y/o hacia la red 100, el procesador 204' del PUC 118' controla el regulador de energía 206' que se dispone para regular la energía disponible para el consumo por la unidad de energía 119 y/o la energía proporcionada a la red 100 de la energía disponible por la unidad de energía 119. Por ejemplo, el PUC 118' puede implementarse en el enchufe de un dispositivo del consumidor, y puede regular, por ejemplo, la energía máxima que puede extraer el dispositivo.

Esta modalidad alternativa de un PUC 118' puede ser ventajosa para unidades de energía que no tienen circuitos de control internos (por ejemplo, un transformador), o tienen circuitos de control que no tienen medios para interactuar con los circuitos de control externos o responder a instrucciones o señales de control (por ejemplo, aparatos de calefacción domésticos antiguos, tales como elementos de calefacción controlados por termostato, etc.), donde es costoso o difícil controlar una unidad de energía a través de circuitos de control, o donde es conveniente controlar un conjunto de dispositivos de energía que comparten, en algún punto, una única conexión eléctrica común a la red (por ejemplo, todos los electrodomésticos en una sola residencia).

Un ejemplo del sistema de control de la presente invención es un Nodo de control 130, descrito con más detalle a continuación con referencia a la Figura 3.

La Figura 3 es una representación esquemática de una modalidad ilustrativa de un Nodo de control (CN) 130, que comprende un medio de comunicación en forma de una interfaz de comunicaciones de entrada/salida (E/S) 302, un medio de procesamiento en forma de un procesador 304 y un almacenamiento de datos 306. En esta modalidad ilustrativa, el CN 130 se conecta comunicativamente a un dispositivo de medición 120 dispuesto para medir una frecuencia de la red de la red de energía eléctrica sincrónica 100. Un medio de comunicación ilustrativo se representa esquemáticamente en la Figura 3 por la antena 303 conectada a la E/S 302.

El dispositivo de medición 120 puede incorporarse en el CN 130.

El dispositivo de medición 120 puede estar alejado del CN 130. Puede haber más de un dispositivo de medición 120 conectado comunicativamente a un CN 130, y los diferentes dispositivos de medición 120 pueden tener diferentes ubicaciones geográficas o de la red, y medir diferentes características locales relacionadas con la frecuencia de la red.

Puede haber más de un CN 130 que opera en relación con la red 100, y cada dispositivo de medición 120 puede conectarse comunicativamente a cada CN 130.

El dispositivo de medición 120 puede ser cualquier dispositivo capaz de detectar o medir la frecuencia de la red dentro de un área sincrónica de una red de energía eléctrica con suficiente precisión.

Un período de tiempo relacionado con la frecuencia de la red puede usarse como una medida de la frecuencia de la red. Por ejemplo, una medición del medio ciclo, que es el período entre los tiempos en que la tensión cruza 0 V, puede usarse como una medida de la frecuencia de la red.

5 En algunas modalidades, puede determinarse la frecuencia de la red instantánea, correspondiente al inverso del tiempo que lleva completar un medio ciclo (o un ciclo completo). Los datos de frecuencia pueden ecualizarse y filtrarse digitalmente para eliminar componentes de frecuencia, por ejemplo, relacionados con el ruido.

10 El dispositivo de medición 120 puede comprender un detector de tensión dispuesto para muestrear la tensión a una frecuencia más alta que la frecuencia de la red y un convertidor analógico a digital dispuesto para convertir la tensión muestreada en una señal de tensión digital. Por ejemplo, el detector de tensión puede disponerse para muestrear la tensión 1000 veces por ciclo. La señal de voltaje digital puede procesarse entonces para determinar con un alto grado de precisión (dentro del intervalo de μ s a ms) los tiempos en que la tensión cruza 0 V.

15 El dispositivo de medición 120 puede comprender un detector de corriente dispuesto para muestrear la corriente a una frecuencia mayor que la frecuencia de la red, y un convertidor analógico a digital dispuesto para convertir la corriente muestreada en una señal de corriente digital, que luego puede procesarse para determinar con un alto grado de precisión (dentro del intervalo de, por ejemplo, μ s a ms) los tiempos en que la corriente cruza 0 V u otras características asociadas con la forma de onda de la corriente.

20 El dispositivo de medición 120 puede comprender tanto un detector de tensión como un detector de corriente. La medición de los tiempos en que tanto la tensión como la corriente cruzan 0 V permite que el dispositivo de medición 120 determine un cambio en la fase relativa de la tensión y la corriente, lo que permite así que el dispositivo de medición 120 compense los cambios en la potencia reactiva en el área sincrónica de la red. Esto a su vez permite una medición más precisa de la frecuencia (o una característica relacionada con la frecuencia).

En la modalidad mostrada en la Figura 3, la frecuencia de la red medida por el dispositivo de medición 120 se comunica al procesador 304 del CN 130, y puede almacenarse en el almacenamiento de datos 130.

30 El procesador 304 puede disponerse para determinar características relacionadas con la frecuencia de la red mediante el uso de las mediciones de frecuencia de la red comunicadas por el dispositivo de medición 120, por ejemplo, una frecuencia de la frecuencia de la red, una velocidad de cambio de la frecuencia de la red (es decir, su primera derivada con respecto al tiempo) o la curvatura del cambio de la frecuencia de la red (es decir, su segunda derivada con respecto al tiempo). Estas características pueden almacenarse en el almacenamiento de datos 306.

35 En algunas modalidades, el dispositivo de medición 120 comprende un medio de procesamiento, por ejemplo, en forma de un procesador, y el procesador del dispositivo de medición 120 puede disponerse para determinar las características relacionadas con la frecuencia de la red. Esto puede ser ventajoso porque puede reducir la cantidad de información que necesita ser comunicada por el dispositivo de medición, y también puede reducir la carga puesta en el procesador del CN, es decir, permitir un procesamiento distribuido de la frecuencia medida.

40 El almacenamiento de datos 306 de la modalidad ilustrativa de un CN mostrado en la Figura 3 puede contener la información de perfil relacionada con las unidades de energía 119 conectadas a la red de energía eléctrica sincrónica 100. Esta información de perfil puede comprender parte o la totalidad de la información de perfil que puede almacenarse en el almacenamiento de datos 208 de la modalidad ilustrativa de un PUC 118 que se muestra en la Figura 2a como se describió anteriormente. La información de perfil almacenada en el almacenamiento de datos 306 también puede comprender detalles de comunicación de las unidades de energía 119 conectadas a la red. El almacenamiento de datos 306 también puede contener información de perfil relacionada con un grupo de unidades de energía. Por ejemplo, la información del grupo puede comprender la identificación de unidades de energía que son miembros del grupo, las características colectivas de suministro y/o consumo de energía producidas por el grupo, y un tiempo de respuesta característico colectivo o función de respuesta característica del grupo. Los grupos pueden formarse a partir de unidades de energía similares, por ejemplo, a partir de unidades de energía con una clase de energía común o similar. Un grupo puede formarse, por ejemplo, a partir de unidades de energía cuyo consumo máximo de energía operativa esté en el intervalo de 1 - 10 kW. Los grupos también pueden formarse, por ejemplo, a partir de unidades de energía que tienen una característica de tiempo de respuesta común o similar, ubicación de la red, ubicación geográfica, disponibilidad por hora/día/semana/mes/temporada/año y/o la última contribución o cualquier otra característica. Agrupar las unidades de energía y tener información de las propiedades colectivas del grupo puede ser ventajoso en la generación de las instrucciones de control, ya que puede reducir la necesidad de identificar individualmente cada unidad de energía que pueda usarse para efectuar una respuesta colectiva dada, y reducir la necesidad de generar una instrucción de control separada para cada unidad de energía individual.

60 El almacenamiento de datos 306 puede estar alejado del CN 130, y puede distribuirse, por ejemplo, entre los almacenamientos de datos 208 de los PUC asociados 118, y el procesador 304 puede en cambio extraer alguna información, por ejemplo, información de perfil, para usar en el procesamiento a través de la E/S 302. Esto puede reducir los requisitos de almacenamiento para un CN y reducir la redundancia de la información almacenada en el sistema. La E/S 302 puede comunicarse con las E/S 202 de los PUC 118 a través de cualquier medio de comunicación

fijo o inalámbrico, ejemplos de los cuales se dieron anteriormente con referencia a la E/S 202 del PUC 118 de la Figura 2a. También puede haber un único o múltiples almacenamientos de datos centralizados de gran capacidad, comunicativos con el CN 130, que almacenan la totalidad de la información de perfil de las unidades de energía del sistema. Esto puede ser ventajoso para fines de respaldo y también puede ser una forma más rentable de almacenar grandes cantidades de información que en muchos almacenamientos de datos pequeños.

El procesador 304 se dispone para generar instrucciones de control para enviar, a través de la E/S 302, a uno o más de los PUC 118 asociados con las unidades de energía 119, en base a las características de variación relacionadas con la frecuencia de la red medida en uno o más dispositivos de medición 120, y en base a la información de perfil relacionada con las unidades de energía 119.

La Figura 4 es un diagrama esquemático de una implementación ilustrativa de un nodo de control 130 en una red ilustrativa, de acuerdo con una modalidad de la presente invención. La red ilustrativa comprende además las unidades de energía 119a a la 119g cada una asociada con un controlador de unidad de energía (PUC) correspondiente 118a al 118g, y los dispositivos de medición 120a al 120c. El CN 130 se acopla comunicativamente a cada uno de los PUC 118a al 118g y a cada uno de los dispositivos de medición 120a al 120c mediante los enlaces de comunicación 401, los enlaces de comunicación 401 que se proporcionan por cualquier medio de comunicación fijo o inalámbrico, por ejemplo, esos medios de comunicación ya descritos anteriormente con referencia a la Figura 2a. Los dispositivos de medición (por ejemplo, 120a) pueden estar en la misma o similar ubicación geográfica o de red que algunas de las unidades de energía (por ejemplo, 119a y 119b y/o en una ubicación alejada de cualquier unidad de energía.

En la implementación ilustrativa mostrada en la Figura 4, el nodo de control 130 recibe mediciones de la frecuencia de la red desde los dispositivos de medición 120, genera instrucciones de control basadas en la frecuencia medida y en la información de perfil de las unidades de energía 119a a la 119g, y envía las instrucciones de control a uno o más de los PUC 118a al 118g para controlar el suministro y/o el consumo de energía de las unidades de energía asociadas 119a a la 119g. La coordinación del control de la frecuencia de la red desde un nodo de control centralizado tiene múltiples ventajas sobre, por ejemplo, el control local no coordinado sobre las unidades de energía locales. Por ejemplo, un control centralizado permite coordinar una respuesta de toda la red en respuesta a los cambios locales, regionales y/o de toda la red en la frecuencia de la red, y permite una visión general de la respuesta colectiva de todas las unidades de energía controladas. Las respuestas proporcionadas pueden coordinarse para que varíen en el tiempo, de modo que las diferentes unidades de energía realicen diferentes contribuciones en diferentes momentos durante el período de control, lo que mejora la flexibilidad y permite una respuesta personalizada que tenga en cuenta la variación en la frecuencia de la red durante el periodo de control (por ejemplo, la desviación de la frecuencia de la red de un valor nominal que aumenta o disminuye). Esta variación puede determinarse de antemano de acuerdo con las técnicas que se describen a continuación, o en base al monitoreo continuo de la frecuencia de la red durante el período de control. El control de las diferentes unidades de energía puede implementarse de manera escalonada, por ejemplo, para tener en cuenta un cambio en una o más características de variación, por ejemplo, una desviación creciente o tasa de desviación de la frecuencia nominal como una respuesta dinámica.

La Figura 5 es un diagrama de flujo que describe un procedimiento ilustrativo de acuerdo con las modalidades de la presente invención para controlar las unidades de energía para proporcionar una contribución a la frecuencia de la red. Esto puede hacerse para, por ejemplo, proporcionar una contribución a la manipulación de la frecuencia de la red a un valor deseado o nominal en respuesta a un evento tal como un cambio repentino en la frecuencia de la red.

En la etapa 502, se monitorea la frecuencia de la red en una o más ubicaciones predefinidas en la red. El monitoreo puede comprender recibir, en el CN 130, los resultados de las mediciones de la frecuencia de la red realizadas en uno o más dispositivos de medición 120 en una o más ubicaciones predefinidas como ya se describió anteriormente con referencia a la Figura 3. Los resultados de las mediciones pueden comunicarse al procesador 304 de un CN 130. El procesador 304 puede procesar y almacenar, en el almacenamiento de datos 306, los valores asociados con la frecuencia medida. La medición de la frecuencia de la red en más de una ubicación permite establecer una imagen del comportamiento de la frecuencia en toda la red y, por lo tanto, permite coordinar la respuesta más efectiva, por ejemplo, un gran cambio en la frecuencia de la red efectuado en un área solo necesita compensarse por una respuesta en un área relacionada, pero el cambio en esa área puede ser indicativo de una respuesta que puede ser requerida en otras áreas. Por ejemplo, si un gran cambio en la frecuencia de la red se mide en una ubicación con baja inercia de la red, esto puede ser indicativo de que un área remota diferente de la red con alta inercia puede experimentar en breve un cambio de frecuencia significativo y, por ejemplo, puede informar al análisis de mediciones de la localidad de alta inercia que cualquier cambio en la frecuencia detectado en esta localidad de alta inercia, en lugar de ser, digamos, ruido, es probable que se deba a un cambio de frecuencia real.

En la etapa 504, el procesador del CN 130 determina si se han cumplido una o más condiciones relacionadas con la frecuencia de la red monitoreada. Estas condiciones pueden ser condiciones para iniciar un período de control en el que se controlan las unidades de energía para restaurar la frecuencia de la red a un valor nominal.

El procesador puede disponerse para determinar que se ha cumplido una condición de la etapa 504 al comparar uno o más valores asociados con la frecuencia monitoreada con un valor umbral, y que la condición se cumple cuando se cruza el umbral. El valor umbral puede almacenarse en el almacenamiento de datos 306 del CN 130, o comunicarse al

procesador 302 del CN 130 para su uso en la comparación mediante, por ejemplo, la E/S 302. El valor umbral puede establecerse, por ejemplo, dentro de los límites de variación aceptable de la frecuencia nominal de la frecuencia de la red medida establecida por el operador de la red, por ejemplo, a 49,5 Hz para un valor nominal de 50 Hz, y cuando la frecuencia medida pasa, por ejemplo, por debajo de 49,5 Hz, se supera el umbral y se cumple la condición.

5 El procesador puede disponerse para determinar que se ha cumplido una condición al evaluar si la frecuencia monitoreada se encuentra dentro de un intervalo de valores, el intervalo que se limita por dos umbrales, y que la condición se cumple cuando la frecuencia se encuentra fuera del intervalo. Por ejemplo, el intervalo puede establecerse en $50 \pm 0,5$ Hz, y la condición se cumple cuando la frecuencia monitoreada se encuentra fuera de ese intervalo. Pueden usarse múltiples intervalos para determinar la gravedad de un cambio de frecuencia, por ejemplo, si la frecuencia monitoreada se sale de un primer intervalo, por ejemplo, $50 \pm 0,2$ Hz, entonces el cambio de frecuencia es de "baja gravedad" y solo se implementa una respuesta apropiada a un cambio de "baja gravedad". Sin embargo, por ejemplo, si la frecuencia monitoreada se sale de un segundo intervalo, por ejemplo, $50 \pm 0,4$ Hz, entonces el cambio de frecuencia es de "alta gravedad" y se implementa una respuesta apropiada a un cambio de "alta gravedad", que, por ejemplo, puede involucrar más unidades de energía o un cambio controlado mayor en el consumo y/o suministro de energía, según corresponda.

20 En algunas modalidades, para reducir el tiempo necesario para responder a los cambios en la frecuencia de la red, las características de frecuencia medidas localmente pueden analizarse para permitir la identificación temprana de cambios significativos en la frecuencia de la red. Este análisis puede realizarse en el procesador 302 del CN 130, por ejemplo, en base a los datos recopilados de los dispositivos de medición 120, como se describe a continuación. El análisis puede realizarse al ajustar una función matemática, tal como una función de extrapolación polinómica y/o una función de extrapolación cónica, a una serie de valores de la frecuencia monitoreada (por ejemplo, graficada en una serie de tiempos en una ventana de observación). Esto puede implicar el uso de un enfoque de "ventana deslizante" para ajustar la función a una primera serie de valores de la frecuencia monitoreada que cubre una primera ventana de observación. Luego la ventana se mueve para ajustar la función a una segunda serie de valores de la frecuencia monitoreada que cubre una segunda ventana posterior.

30 Después de una determinación positiva en la etapa 504 de que se han cumplido una o más condiciones relacionadas con la frecuencia monitoreada, en la etapa 506 se inicia un período de control durante el cual se controlará la frecuencia de la red en una o más de las ubicaciones de monitoreo predefinidas.

35 El período de control puede ser indefinido, por ejemplo, que comienza en el inicio del período de control y continúa hasta el momento en que se haya determinado que la frecuencia monitoreada ha cruzado un umbral o regresado a dentro de un intervalo de frecuencias, por ejemplo, el período de control puede terminar cuando la frecuencia monitoreada vuelve a estar dentro de un intervalo alrededor de la frecuencia nominal de la red, por ejemplo, $50 \pm 0,5$ Hz.

40 El período de control puede ser de una duración predefinida, por ejemplo, si se predetermina que es aceptable o conveniente que el control del consumo y/o suministro de energía de unidades de energía se realice solo hasta una duración máxima combinada de, por ejemplo, cinco minutos, después de los cuales, por ejemplo, puede que no sea económico efectuar el control de esta manera.

45 Después de las etapas 502 a la 506, en la etapa 508, se determina una o más características de variación relacionadas con una variación, durante dicho período de control, en la frecuencia de la red, en base al monitoreo de la frecuencia de la red.

En algunas modalidades, el procesador 304 del CN se dispone para determinar la una o más características de variación.

50 La una o más características de variación pueden derivarse de la frecuencia monitoreada, y pueden determinarse de antemano en base a, por ejemplo, las técnicas matemáticas descritas a continuación, o en base al monitoreo continuo de la frecuencia de la red durante el período de control. La una o más características de variación pueden incluir una indicación de una variación en la frecuencia durante el período de control, por ejemplo, una variación en la desviación de un valor nominal, y/o una representación de la "forma" de la variación de frecuencia.

55 Las características de variación pueden incluir uno o más coeficientes de una función polinómica ajustada a la frecuencia monitoreada en una ventana de observación, o un valor pronosticado de la frecuencia monitoreada en un momento específico en el futuro, como se describe a continuación con referencia a las Figuras 6a a la 6c.

60 Las características de variación pueden incluir una o más diferencias entre uno o más coeficientes de una primera función polinómica ajustada a una primera serie de valores en una primera ventana de observación, y uno o más coeficientes de una segunda función polinómica ajustada a una segunda serie de valores en una segunda ventana de observación posterior, o incluso uno o más coeficientes adicionales de funciones polinómicas adicionales ajustadas a series de valores adicionales en ventanas de observación posteriores adicionales, como se describe con más detalle a continuación con referencia a las Figuras 7a a la 7f.

Se apreciará que las características de variación pueden cambiar durante el período de control y, por lo tanto, la determinación de una o más características de variación de la etapa 508 en la Figura 5 puede ocurrir de manera continua o a intervalos durante el período de control. Las características de variación determinadas durante el período de control pueden incluir cualquier característica capaz de describir la naturaleza de la variación en la frecuencia monitoreada en el período de control. Por ejemplo, si la frecuencia monitoreada es o es probable que caiga o aumente, en cuánto, a qué velocidad, de acuerdo con qué forma funcional, cuándo y cómo tiene o es probable que deje de caer o subir, y cuándo y cómo tiene o es probable que cumpla una condición que finalice el período de control, todo lo cual puede determinarse mediante un análisis continuo o a intervalos de la frecuencia monitoreada como se describió anteriormente con referencia a las etapas 502 a la 506.

Sobre la base de la una o más características de variación determinadas en 508, y sobre la base de la información de perfil relacionada con la pluralidad distribuida de unidades de energía 119 conectadas a la red 100, pueden generarse instrucciones de control para controlar el consumo y/o suministro de energía de una primera pluralidad de unidades de energía, como se representa en la etapa 510 de la Figura 5. Las instrucciones de control pueden generarse para contrarrestar una variación en la frecuencia de la red como se indica por las características de variación determinadas en la etapa 508.

En algunas modalidades, las instrucciones de control se generan por el procesador 304 del CN 130. Las instrucciones de control pueden generarse de forma simultánea o posterior a las etapas 502 a la 508. En algunas modalidades donde las instrucciones de control se generan simultáneamente con las etapas 502 a la 508, las instrucciones de control pueden, por ejemplo, solo activarse como, por ejemplo, instrucciones de control autorizadas para enviarse solamente una vez que se determina que se han cumplido la una o más condiciones de la etapa 504.

En la etapa 512 de la Figura 5, las instrucciones de control generadas en la etapa 510 se envían a la primera pluralidad de unidades de energía, que de este modo se controlan para proporcionar una contribución variable en el tiempo a la frecuencia de la red durante el período de control. Las instrucciones de control se envían a la E/S 202 del PUC 118 asociado con cada unidad de energía, a través de la E/S 302 del CN 130.

En una modalidad ilustrativa, el procesador 304 se dispone para hacer un pronóstico de la frecuencia de la red y determinar si se ha cumplido una condición en base a si un valor pronosticado de la frecuencia de la red ha cruzado un umbral o se encuentra fuera de un intervalo de frecuencia. El proceso para determinar si se ha cumplido una condición de acuerdo con un valor pronosticado de la frecuencia de la red se describe a continuación con referencia a las Figuras 6a a la 6c.

Las Figuras 6a a la 6c muestran representaciones esquemáticas ilustrativas de la frecuencia de la red f frente al tiempo t , donde, en cada caso, la frecuencia monitoreada se representa por la representación sólida "E", y donde el valor pronosticado de la frecuencia de la red se representa por la estrella negra.

El "0" en el eje de tiempo en cada una de las Figuras 6a a la 6c representa un presente nocional en cada caso, y cada una de las Figuras 6a a la 6c representa sucesivamente las gráficas de la frecuencia monitoreada y la frecuencia pronosticada en momentos sucesivos posteriormente. La frecuencia de la red nominal hipotética del funcionamiento normal en estos ejemplos es de 50 Hz, y el 'intervalo aceptable' hipotético de la frecuencia es de $\pm 0,5$ Hz. Sin embargo, se apreciará que la frecuencia de la red nominal podría ser cualquier frecuencia de una red de energía eléctrica sincrónica elegida para ser el valor operativo nominal, y que el 'intervalo aceptable' de la frecuencia de la red podría ser cualquier intervalo en el que se desee mantener dentro la frecuencia de la red.

La Figura 6a es la primera gráfica de la serie y muestra la frecuencia monitoreada registrada "E" hasta que el presente nocional en el tiempo "0" se acerca a 50 Hz. Se define una ventana de observación entre dos tiempos "A" y "B", donde el tiempo "B" se define como el presente nocional "0", y el tiempo "A" se define como un tiempo establecido en el pasado desde el punto "B", por ejemplo, digamos 1 segundo. Se aplica un procedimiento de ajuste polinómico, por ejemplo, basado en el ajuste de mínimos cuadrados, a la frecuencia monitoreada registrada en esta ventana de observación. Por ejemplo, este procedimiento puede determinar los coeficientes a , b , y c , de la función $f = at^2 + bt + c$ en la ventana de observación, lo que resulta en la desviación de suma más pequeña de la frecuencia monitoreada de la función. Una vez que se determinan los coeficientes para la ventana de observación, puede haber un pronóstico de la frecuencia de la red para un tiempo específico en el futuro, $t = 0 + C$, al resolver la ecuación para f con $t = C$, digamos por ejemplo, $C = 2$ segundos, es decir, extrapolar la función ajustada a la frecuencia monitoreada de la ventana de observación para tiempos futuros. En la Figura 6a, la función ajustada en la ventana de observación es en gran parte lineal, y una extrapolación de esta función al tiempo "C" da como resultado la frecuencia pronosticada representada por la estrella sólida. La función ajustada en la Figura 6a tiene un gradiente pequeño y, como resultado, la frecuencia pronosticada se encuentra dentro del intervalo $50 \pm 0,5$ Hz y, por ejemplo, la condición de que la frecuencia pronosticada se encuentre fuera del intervalo $50 \pm 0,5$ Hz no se ha cumplido en la Figura 6a.

La Figura 6b muestra lo mismo que en la Figura 6a, excepto que el tiempo se ha movido, se ha trazado la frecuencia monitoreada adicional "E'", y se ha movido la ventana de observación, definida entre los tiempos "A'" y "B'". El procedimiento de ajuste polinómico descrito anteriormente ahora se aplica nuevamente a la frecuencia monitoreada contenida en esta ventana de observación posterior. La función $f = a't^2 + b't + c'$ ajustada para la ventana de

observación, representada por la línea discontinua D' en la Figura 6b, tiene cierta curvatura pero poco gradiente, lo que refleja el hecho de que la frecuencia monitoreada disminuyó al final de la ventana de observación. Se realiza un pronóstico para la frecuencia en el tiempo C' al resolver f para $t = C'$, donde, digamos, $C' = 2$ s, y este valor pronosticado se representa en la Figura 6b por la estrella sólida. Nuevamente, la frecuencia pronosticada no se encuentra fuera del intervalo $50 \pm 0,5$ Hz, por lo que, por ejemplo, la condición de que la frecuencia pronosticada se encuentre fuera del intervalo $50 \pm 0,5$ Hz no se ha cumplido en la Figura 6b.

La Figura 6c muestra lo mismo que en la Figura 6b, excepto que el tiempo se ha movido más, se ha trazado aún la frecuencia monitoreada adicional "E'", y se ha movido más la ventana de observación definida entre los tiempos "A'" y "B'". El procedimiento de ajuste polinómico descrito anteriormente ahora se aplica nuevamente a la frecuencia monitoreada contenida en esta ventana de observación aún posterior. La función $f = at^2 + bt + c$ ajustada para la ventana de observación, representada por la línea discontinua D' en la Figura 6c, tiene cierta curvatura pero un gradiente más sustancial, lo que refleja el hecho de que la frecuencia monitoreada fue disminuyendo para casi toda la ventana de observación definida entre "A'" y "B'". Se realiza un pronóstico para la frecuencia en el tiempo C" al resolver f para $t = C"$, donde, digamos, $C" = 2$ segundos, y este valor pronosticado se representa en la Figura 6c por la estrella sólida. Aquí, la frecuencia pronosticada se encuentra fuera del intervalo $50 \pm 0,5$ Hz, por lo que, por ejemplo, la condición de que la frecuencia pronosticada se encuentre fuera del intervalo $50 \pm 0,5$ Hz se ha cumplido en la Figura 6c, y así, por ejemplo, puede iniciarse el período de control en el que pueden controlarse las unidades de energía.

En una modalidad ilustrativa adicional, el procesador se dispone para determinar si se ha cumplido una condición al comparar los coeficientes de una o más funciones ajustadas a la frecuencia monitoreada en una o más ventanas de observación sucesivas, que ahora se describe con referencia a las Figuras 7a a la 7f.

Las Figuras 7a a la 7f muestran variaciones de frecuencia con el tiempo t donde los valores de la frecuencia monitoreada se ajustan con una función polinómica de segundo orden. La forma funcional de la función polinómica de segundo orden es $at^2 + bt + c$ y los parámetros que definen la forma de la función son los coeficientes a , b y c . Aquí nuevamente, la función polinómica se ajusta a la frecuencia monitoreada para cada ventana de observación sucesivamente, donde " $t = 0$ " para los propósitos de ajuste se redefine sucesivamente a un punto consistente dentro de cada ventana de observación sucesiva.

La Figura 7a muestra una característica de frecuencia medida durante un período de diez ventanas de observación, etiquetadas de 1 a 10. Puede verse que en el transcurso de las 10 ventanas de observación hay un cambio en la frecuencia monitoreada. En particular, la frecuencia monitoreada es estable durante la ventana de observación 1, 2 y 3 y luego comienza a reducir su valor en la ventana de observación 4. La velocidad de cambio de la frecuencia monitoreada aumenta ligeramente a una velocidad de cambio máxima en la ventana de observación 6 y luego la velocidad de cambio disminuye a la ventana de observación 10.

Las Figuras 7b a la 7f muestran el ajuste de una función polinómica de segundo orden a la frecuencia monitoreada que se muestra en la Figura 7a.

Durante la ventana de observación 2 (Figura 7b), la frecuencia monitoreada es estable, de modo que la función polinómica ajustada se reduce a una función lineal cuyo gradiente es cercano a cero.

Durante la ventana de observación 4 (Figura 7c), la característica de frecuencia comienza a disminuir. En esta ventana, la frecuencia monitoreada puede ajustarse mejor con una función polinómica que describe una parábola invertida, como lo indica la curva discontinua. Esta parábola invertida puede caracterizarse, por ejemplo, por un valor negativo del coeficiente "a". Durante la ventana 5 (Figura 7d), la velocidad de cambio (velocidad de disminución) de la frecuencia monitoreada aumenta. Por lo tanto, por ejemplo, la frecuencia monitoreada de la ventana 5 (Figura 7d) puede ajustarse mejor con un polinomio que describe una parábola invertida más aguda con un gradiente más pronunciado sobre la ventana. Este gradiente más pronunciado podría caracterizarse, por ejemplo, por un aumento en la magnitud del coeficiente "b".

Durante la ventana 6 (Figura 7e), la frecuencia monitoreada se reduce aún más, pero de una manera sustancialmente monótona, y por lo tanto puede ajustarse mejor con una función lineal. Las funciones lineales tienen un coeficiente $a = 0$, que también marca un punto de inflexión en la forma funcional nocional de la frecuencia monitoreada.

Durante la ventana 8 (Figura 7f), la frecuencia monitoreada pasa un punto de inflexión y la velocidad de cambio de la frecuencia monitoreada disminuye. En consecuencia, la frecuencia monitoreada puede ajustarse mejor con una parábola no invertida. Esta parábola no invertida puede caracterizarse, por ejemplo, por un valor positivo del coeficiente "a". Puede verse a partir del ejemplo descrito anteriormente que al comparar los coeficientes de una función polinómica ajustada a valores de frecuencia monitoreados para una ventana de observación con los coeficientes para una ventana de observación posterior, por ejemplo, es posible detectar cambios significativos en la forma de la función ajustada, tal como el inicio de una disminución (o de hecho un aumento) de la frecuencia monitoreada (al detectar que los coeficientes tienen un valor distinto de cero), un cambio en la velocidad de cambio de la frecuencia monitoreada (al detectar un cambio en la magnitud de los coeficientes) y un punto de crítico o punto de inflexión en la frecuencia monitoreada (al detectar un cambio en el signo de uno o más de los coeficientes). En esta modalidad, una

determinación de que una o más condiciones se han cumplido, por lo tanto, puede comprender determinar la diferencia entre uno o más de los coeficientes en ventanas de observación sucesivas, y determinar si la magnitud y/o el signo de las diferencias se encuentran dentro de uno o más intervalos y que se cumple una condición cuando una o más de las diferencias se encuentran fuera de uno o más de los intervalos.

5

Además, al determinar cómo cambian los coeficientes de la función polinómica entre los intervalos de tiempo, es posible extrapolar la cantidad en la que es probable que cambie la característica de frecuencia. Típicamente, puede hacerse una estimación precisa de la disminución total (o aumento) de la característica de frecuencia a medida que la frecuencia monitoreada se acerca al punto crítico (Figura 7e); esto típicamente corresponde con un tiempo posterior al inicio de la disminución de la característica de frecuencia de aproximadamente 500 ms, que puede ser un período de tiempo significativamente más corto que el tiempo necesario para alcanzar un valor umbral (por ejemplo, del orden de unos pocos segundos).

10

En las modalidades anteriores, puede darse una ponderación diferente para la frecuencia monitoreada en diferentes ventanas de observación, de modo que, por ejemplo, la mayor ponderación se da a la frecuencia monitoreada en la ventana de observación más reciente. Este procedimiento de ponderación puede actuar como un filtro, ya que puede disminuir la influencia de los componentes falsos de la frecuencia monitoreada en la determinación de los coeficientes de las funciones ajustadas.

15

El procedimiento de ajuste puede basarse en el ajuste de la frecuencia monitoreada a otras formas funcionales, por ejemplo, funciones exponenciales, funciones de potencia o polinomios de, por ejemplo, cualquier orden.

20

Las condiciones pueden establecerse con referencia a una medición de la inercia de la red en el área local del dispositivo de medición 120. Por ejemplo, el intervalo de frecuencias fuera del cual se cumple una condición puede establecerse relativamente pequeño para mediciones de un área de la red con una inercia relativamente grande, ya que para un cambio repentino dado en el equilibrio de energía, el efecto sobre la frecuencia de la red para un área con inercia relativamente grande será relativamente pequeño.

25

La generación de las instrucciones de control en la etapa 510 de la Figura 5, y la contribución a la frecuencia de la red que resulta del control de las unidades de energía resultante del envío de las instrucciones de control a las unidades de energía de la etapa 512 de la Figura 5, ahora se describirán con más detalle con referencia a las Figuras 8a a la 8c.

30

La Figura 8a muestra gráficas hipotéticas de la frecuencia monitoreada frente al tiempo en tres escenarios hipotéticos diferentes "A", "B" y "C", separados en intervalos por puntos específicos en el tiempo etiquetados de 1 a 5.

35

En el escenario "A" de la Figura 8a en 1, hay una pérdida repentina en el suministro de energía en el área monitoreada de la red, por lo que la frecuencia de la red se reduce. En el escenario "A", no se toman medidas en respuesta a la pérdida repentina, es decir, la invención descrita en la presente no se implementa, por lo que la frecuencia de la red continúa disminuyendo, aunque a una velocidad de disminución progresivamente más lenta a medida que la red se acerca a un equilibrio en una frecuencia de la red nueva, más baja, de 2 a 5 y, justo antes de 4, cae por debajo del límite hipotético inferior aceptable de la frecuencia de la red de 49,5 Hz. En un método convencional para abordar este escenario, puede ser que unos pocos segundos o decenas de segundos después de 1, otro generador grande en la red aumente su suministro de energía, para que la frecuencia de la red vuelva a su valor nominal. Sin embargo, en este momento, la frecuencia de la red ya ha pasado, digamos, decenas de segundos fuera del intervalo hipotético aceptable alrededor del valor nominal.

40

45

En el escenario B de la Figura 8a, el mismo desequilibrio repentino de energía del escenario A ocurre en 1, y la frecuencia inicialmente cae de la misma manera entre 1 y 2. En este escenario, sin embargo, se inicia un período de control de acuerdo con una modalidad de la presente invención. A partir de un análisis (como se describió anteriormente, por ejemplo) de la frecuencia monitoreada antes de 2, el CN 130 determina que se ha cumplido una condición, y el período de control debe iniciarse, y el período de control se inicia en 2. Además, en este escenario ilustrativo, las características de frecuencia que caracterizan la forma en que la frecuencia de la red ha variado y es probable que varíe con el tiempo se derivan del análisis de la frecuencia monitoreada entre 1 y 2 (mediante el uso de, por ejemplo, los métodos descritos anteriormente con referencia a las Figuras 6a a la 6c y 7a a la 7f). Estas características de frecuencia se combinan, por ejemplo, con una característica de inercia en el área local del monitoreo para determinar, por ejemplo, la magnitud del desequilibrio de energía asociado con el cambio de frecuencia entre 1 y 2 y, por lo tanto, se calcula la magnitud y duración del suministro y/o consumo de energía que necesitaría ser controlado para compensar el desequilibrio.

50

55

En el escenario ilustrativo B, en 2, el procesador 304 del CN 130 también lee la información de perfil de las unidades de energía 119 a partir del almacenamiento de datos 306. El procesador puede entonces, por ejemplo, filtrar las unidades de energía 119 para solo considerar adicionalmente las unidades de energía cuya información de perfil indica que están disponibles para el control y, digamos para este ejemplo, son una unidad de consumo de energía que actualmente consume energía, o una unidad de suministro de energía que actualmente no proporciona energía a plena capacidad. El procesador puede entonces, por ejemplo, calcular, para cada unidad de energía restante después del filtrado, en base a, por ejemplo, la información de perfil adicional, tal como el consumo de energía y/o la capacidad de suministro, las

60

65

- instrucciones de control que deberían enviarse a cada unidad de energía para proporcionar una respuesta combinada suficiente para compensar el desequilibrio calculado. Puede ser, por ejemplo, que haya una unidad de energía, o un grupo de unidades de energía que puedan proporcionar una respuesta suficiente (por ejemplo, suficiente en magnitud y velocidad a la que la respuesta puede entregarse). Este grupo se representa por el bloque 804 en la Figura 8b, que es un diagrama esquemático que muestra un programa de control ilustrativo de las unidades de energía, el programa de control que se asocia con el escenario B. El grupo representado por el bloque 804 puede comprender, por ejemplo, unidades de suministro de energía con un tiempo de respuesta muy corto pero una capacidad de suministro limitada, por ejemplo, procesos industriales o comerciales que pueden terminarse solo por períodos cortos.
- En 2, las instrucciones de control se generan y se envían al grupo representado por el bloque 804. Puede haber un período de tiempo corto, representado por el bloque 802 de la Figura 8b, que las unidades de energía representadas por el bloque 804 toman para responder a las instrucciones de control, que dura hasta 3.
- Como resultado del control del grupo de unidades de energía representadas por el bloque 804, la frecuencia monitoreada del escenario B en la Figura 8a deja de disminuir en 3 y aumenta lentamente. Sin embargo, puede ser que las unidades de energía del grupo 804 solo puedan proporcionar una respuesta durante un período de tiempo limitado, por ejemplo, debido a las limitaciones en la duración de las interrupciones de un proceso industrial, ese período limitado es más corto que el tiempo determinado que es necesario, por ejemplo, para conectar la generación de reserva que equilibraría la generación/consumo del sistema para restablecer la frecuencia de la red dentro del intervalo aceptable alrededor de la frecuencia nominal. Adicional o alternativamente, puede ser que no sea conveniente que las unidades de energía del grupo 804 proporcionen una respuesta durante un período de tiempo prolongado ya que esto, por ejemplo, puede provocar inconvenientes a un usuario de una unidad de energía.
- Al haber determinado esto en 2 a partir de la información de perfil, por ejemplo, el tiempo de respuesta característico o una indicación de un período de tiempo máximo de disponibilidad de tiempo de las unidades de energía representadas por el bloque 804, el procesador 304 del CN 130 también genera y envía, en 2, instrucciones de control para una segunda unidad de energía o segundo grupo de unidades de energía, representadas por el bloque 808 en la Figura 8b. El grupo representado por el bloque 808 tiene un período para responder a las instrucciones de control, representadas por el bloque 806, que es de una longitud intermedia, por ejemplo, debido a los circuitos de control relativamente lentos en la unidad, y que por lo tanto solo comienza a contribuir a la respuesta en 4, poco antes de que cese la respuesta asociada con el grupo representado por el bloque 804.
- El grupo de unidades de energía representado por el bloque 808 puede comprender, por ejemplo, unidades de refrigeración que son relativamente lentas para responder a las instrucciones de control, y que tienen especificado en su información de perfil que solo pueden apagarse durante un período de tiempo limitado, por ejemplo, para mantener un nivel de refrigeración total suficiente. El control de las unidades de energía representadas por el bloque 804 impacta la frecuencia monitoreada del escenario ilustrativo B en la Figura 8a, donde la frecuencia se mantiene en un nivel estable entre 4 y 5.
- Como se indicó anteriormente, puede ser, sin embargo, que la longitud del control de las unidades de energía del bloque 808 también se limite, y el control del grupo cesa después de 5. Al haber determinado esto en 2 a partir de la información de perfil de las unidades de energía del bloque 808, el procesador 304 del CN 130 también genera instrucciones de control para una tercera unidad de energía o tercer grupo de unidades de energía, representadas por el bloque 812 en la Figura 8b. Este grupo tiene un período para responder a las instrucciones de control 810 que es relativamente largo, por ejemplo, debido a un tiempo de funcionamiento relativamente largo de los generadores diésel del que está compuesto el grupo, y que, por lo tanto, solo comienzan a contribuir a la respuesta en 5, poco antes de que cese la respuesta asociada con el bloque 808.
- El control de las unidades del bloque 812 impacta la frecuencia monitoreada del escenario ilustrativo B en la Figura 8a, donde la frecuencia aumenta más allá de 5 y regresa cerca de la frecuencia nominal de 50 Hz. El control de las unidades de energía del bloque 812 puede continuar (representado por la porción final discontinua del bloque 812) hasta que se haga una determinación de que el control ya no es necesario para mantener la frecuencia cercana al valor nominal. También puede ser que si se determina que la frecuencia monitoreada ha regresado dentro de un intervalo aceptable de frecuencias alrededor de la frecuencia nominal, el período de control cesa, y si de hecho el cese del período de control conduce a un cambio en la frecuencia monitoreada determinada suficiente para iniciar un período de control adicional, entonces se implementará un control adicional.
- En el escenario C de la Figura 8a, los mismos cambios de frecuencia monitoreada, el inicio del período de control, la determinación de las características de frecuencia y la generación de las instrucciones de control ocurren como en el escenario B, y el mismo programa de control inicial de la Figura 8b se genera y ejecuta como se muestra por las primeras tres filas de bloques de control en la Figura 8c. Sin embargo, en el escenario C, el control de las unidades de energía del bloque 804' no evita que la frecuencia monitoreada continúe disminuyendo después de 3. Sin embargo, el CN 130 continúa monitoreando la frecuencia de la red después de que las instrucciones de control se generan y envían en 2, y determina durante el intervalo entre 2 y 4 que, por ejemplo, a partir de un análisis de las características de frecuencia derivadas durante este período, se han cumplido una o más condiciones adicionales, por ejemplo, que la frecuencia monitoreada sigue cayendo y que deben generarse y enviarse instrucciones de control adicionales. El

5 procesador 304 del CN 130 puede, por lo tanto, calcular el consumo de energía adicional y/o el control de suministro necesarios para compensar la caída en la frecuencia determinada entre 2 y 4. El procesador 304 del CN 130 puede entonces recuperar además la información de perfil de la pluralidad distribuida de unidades de energía conectadas a la red 100, filtrar y seleccionar además las unidades de energía para usar en el control adicional, y generar instrucciones de control adicionales para efectuar la compensación calculada adicionalmente según sea necesario. Estas instrucciones de control se envían en 5 al grupo representado en el programa de control ilustrativo de la Figura 8c como el bloque 816. Puede haber un breve intervalo de tiempo para que las unidades de energía respondan a las instrucciones de control representadas por el bloque 814.

10 La respuesta adicional proporcionada por el control de las unidades de energía del bloque 816 se refleja en el gráfico ilustrativo de la frecuencia monitoreada en el escenario C en la Figura 8a, ya que, en el intervalo entre 4 y 5, la frecuencia deja de caer y comienza a aumentar. En el escenario C, la contribución adicional de las unidades de energía del bloque 816 cesa poco después de 5, pero el comienzo de la respuesta de las unidades de energía del bloque 812' en 5 es suficiente para devolver la frecuencia monitoreada cerca del valor nominal. El período de control en el escenario C puede cesar y reiniciarse de la misma manera que se describió anteriormente en el escenario B.

De tal manera, las unidades de energía pueden agregarse y controlarse para proporcionar una respuesta dinámica, bien definida y continua a un cambio en la frecuencia de la red para restaurar una frecuencia de la red a un valor nominal.

20 La generación de las instrucciones de control puede restringirse de modo que el suministro y/o consumo de energía combinado producido al controlar las unidades de energía en el período de control se ajuste a un perfil temporal predefinido. Este perfil, por ejemplo, puede predefinirse por un operador de red para limitar el daño provocado a los dispositivos eléctricos que podría provocarse, por ejemplo, por una respuesta que es demasiado rápida.

25 Los parámetros que definen un perfil temporal predefinido pueden definirse por un operador del sistema como, por ejemplo, parámetros estáticos. Los parámetros y/o el perfil temporal pueden ser específicos de las áreas locales o regiones de la red, definirse solo para ser válidos para una ventana de tiempo específica, por ejemplo, en ciertos momentos durante un día o semana, y también pueden ser flexibles para una determinación dada de la característica de frecuencia, por ejemplo, ser menos restrictivos en respuesta a una determinación de un cierto nivel de gravedad de un cambio de la frecuencia monitoreada.

30 Las instrucciones de control para producir un perfil temporal predefinido pueden generarse, por ejemplo, antes de cualquier condición relacionada con que se cumpla la frecuencia monitoreada. Por ejemplo, la etapa 510 en la Figura 5 de generar instrucciones de control puede comprender, por ejemplo, recuperar un conjunto de instrucciones de control predefinidas para un conjunto predefinido de unidades de energía a partir de un almacenamiento de datos, por ejemplo, el almacenamiento de datos 306 del CN 130.

35 El conjunto de instrucciones de control pregeneradas cuando se envían, por ejemplo, pueden dar lugar a la respuesta temporal predefinida. Puede haber diferentes conjuntos de instrucciones de control pregeneradas que representan diferentes perfiles temporales predefinidos, los perfiles temporales, por ejemplo, que se definen por uno o más parámetros como se describió anteriormente.

40 Un conjunto particular de instrucciones de control pregeneradas puede recuperarse en base a una o más características de variación. Por ejemplo, mediante el uso de los métodos descritos en detalle anteriormente con respecto a las Figuras 5 a la 8c, puede determinarse que una característica de variación indica que el evento de cambio de frecuencia en una determinada ubicación se clasifica como de 'alta gravedad'. En este caso, por ejemplo, un conjunto de instrucciones de control que se han generado previamente para proporcionar una respuesta a un evento de 'alta gravedad' en esa ubicación, por ejemplo, puede recuperarse del almacenamiento de datos 306 del CN 130, y enviarse a los PUC 118 definidos en el mismo.

45 La variación de frecuencia, por ejemplo, puede recibir una clasificación numérica basada en las características de variación determinadas y, por ejemplo, la inercia de la red en el momento y/o ubicación en el que se midió la variación. Por ejemplo, una variación que es o se predice que probablemente dará lugar a una reducción relativamente rápida en la frecuencia de la red o una reducción de una magnitud relativamente grande o una combinación de ambas puede calificarse con, digamos, '-10', mientras que una variación con un aumento relativamente lento o de una magnitud relativamente pequeña o ambos pueden calificarse con, digamos, '+2'. Puede haber, digamos, 20 conjuntos pregenerados diferentes de instrucciones de control (es decir, -10 a -1 y +1 a +10), cada uno definido para producir, cuando se envía, una respuesta que es proporcional a un grado de variación de gravedad determinado. Por ejemplo, si una variación tiene características de variación que caen, por ejemplo, en el grado '-7', las instrucciones de control pregeneradas correspondientes etiquetadas '-7' que se han generado previamente para proporcionar una respuesta proporcional para una variación de frecuencia del grado '-7' pueden recuperarse y enviarse. Esto puede permitir una respuesta más rápida ya que hay un nivel reducido de cálculo, en o después del inicio del período de control, de qué unidades de energía incluir en la respuesta y qué instrucciones de control deben enviarse para producir una respuesta suficiente.

65

Puede ser, por ejemplo, que se envíe un conjunto pregenerado de instrucciones de control a las unidades de energía definidas en el mismo como una respuesta inicial a un cambio determinado en la característica de variación, antes de que se generen y envíen instrucciones de control adicionales con base en el monitoreo posterior de la frecuencia de la red. Por ejemplo, las instrucciones de control enviadas a los grupos representados por los bloques 804', 808' y 812' en la Figura 8c pueden generarse previamente y recuperarse entre 2 y 3 en respuesta al cambio de la frecuencia monitoreada entre 1 y 2. Las instrucciones de control pueden entonces generarse y enviarse al grupo de unidades de energía representadas por el bloque 816 en la Figura 8c en el punto 4 en respuesta a un monitoreo posterior de la frecuencia de la red.

La generación de las instrucciones de control también puede incorporar información relacionada con la inercia de la red en una ubicación específica en la red en un momento específico. Por ejemplo, si en un momento específico, una ubicación de red específica tiene, digamos, una baja inercia, en respuesta a un cambio de frecuencia significativo, pueden generarse instrucciones de control para controlar las unidades de energía para proporcionar, lo más cerca posible, una respuesta rápida apropiada, por ejemplo, al seleccionar unidades de energía capaces de proporcionar las respuestas más rápidas. Sin embargo, si se determina que un área de la red en un momento determinado tiene, digamos, alta inercia, puede tenerse en cuenta en la generación de las instrucciones de control que generar instrucciones de control para unidades de energía de respuesta rápida es de menor importancia.

Para aumentar la precisión y el nivel de control de la respuesta coordinada, además del procesador 304 del CN 130 que usa un tiempo de respuesta característico asociado con las unidades de energía en la generación de las instrucciones de control, o de otra manera, el procesador 304 también puede usar una función de respuesta característica de las unidades de energía que puede formar parte además de la información de perfil. Una función de respuesta característica, así como simplemente relacionada con un tiempo de respuesta característico como se muestra, por ejemplo, para las unidades de energía del bloque 804 de la Figura 8b mediante el bloque 802, se relaciona con la forma funcional del cambio en el consumo y/o suministro de energía de una unidad de energía en respuesta a recibir una instrucción de control dada. Por ejemplo, el bloque 802 de la Figura 8b representa un tiempo después del cual las unidades de energía del bloque 804 pueden proporcionar un nivel de suministro dado en respuesta a recibir la instrucción de control. Sin embargo, en algunas modalidades, el bloque 802 puede representar alguna función del tiempo que caracteriza la forma en que las unidades de energía proporcionan energía antes de que se logre el suministro de energía como se especifica en las instrucciones de control. Alternativamente, la función de respuesta característica puede representarse mediante parámetros que caracterizan una forma funcional parametrizada. Por ejemplo, el suministro de energía de un generador mecánico puede caracterizarse inicialmente por un período de ejecución, que puede caracterizarse, por ejemplo, por una función parametrizada $P(t) = A - Be^{Ct}$, donde $P(t)$ es la potencia de salida en el tiempo t , y A , B y C son parámetros que caracterizan la función. En otro ejemplo, un generador diésel puede consumir energía inicialmente mediante el uso de un motor de arranque antes de proporcionar energía eléctrica, y por lo tanto puede caracterizarse por una forma funcional diferente. En otro ejemplo, un circuito de control lento puede dar como resultado un período de cero potencia de salida desde una unidad de energía y, por lo tanto, la función de respuesta característica puede reflejar esto, por ejemplo, al parametrizar un desplazamiento en el tiempo. La función de respuesta característica también puede representar una respuesta medida o apropiada que comprende puntos de datos representativos de la respuesta de una unidad de energía y, por lo tanto, no necesita caracterizarse necesariamente por una forma funcional o parámetros asociados con la misma.

Las instrucciones de control generadas y enviadas a un grupo de unidades de energía, por ejemplo, las representadas por el bloque 804 en la Figura 8b, pueden comprender instrucciones para apagar, encender, aumentar o disminuir el suministro de energía, aumentar o disminuir el consumo de energía, cambiar el suministro y/o consumo de energía durante un tiempo determinado, y cambiar el suministro y/o consumo de energía de acuerdo con un perfil de tiempo específico. Para lograr un perfil temporal predefinido de la respuesta total con una alta precisión, las instrucciones de control del bloque 804 pueden incluir instrucciones para aumentar el suministro de energía de acuerdo con una función parametrizada, por ejemplo, de acuerdo con $P(t) = A - Be^{Ct}$, donde $P(t)$ es la potencia de salida en el tiempo t , y A , B y C son parámetros que caracterizan la función. Las instrucciones de control, por ejemplo, pueden incluir solo los parámetros de una función, o un identificador de una forma funcional predefinida conocida tanto por el CN 130 como por el PUC 118. Se apreciará que pueden definirse y parametrizarse otras formas funcionales según sea necesario para producir una respuesta temporal deseada del suministro y/o consumo de energía de una unidad de energía.

En algunas modalidades, los medios de procesamiento del sistema de control pueden comprender una pluralidad distribuida de procesadores, por ejemplo, que comprenden procesadores de uno o más CN, uno o más PUC y uno o más dispositivos de medición 120. Cualquiera de los cálculos, determinaciones, derivaciones mencionados anteriormente o cualquier otra acción de este tipo llevada a cabo por cualquiera de los procesadores descritos anteriormente pueden implementarse por cualquiera de los procesadores, o mediante el uso de cualquier combinación de ellos, de las diversas modalidades descritas en la presente descripción. Como un ejemplo, el monitoreo de la frecuencia de la red, por ejemplo, como se representa por la etapa 502 de la Figura 5, y la determinación de que se ha cumplido una condición relacionada con la frecuencia monitoreada, por ejemplo, como se representa por la etapa 504 en la Figura 5, pueden lograrse mediante el uso de un procesador del dispositivo de medición en el que se mide la frecuencia. El dispositivo de medición puede comunicar entonces detalles de la condición que se cumple al CN 130, y el procesador 304 y los medios de comunicación de E/S 302 del CN 130 pueden entonces llevar a cabo las etapas representadas por 506 a 512 de la Figura 5. En un ejemplo adicional, el procesador de un dispositivo de medición puede

5 iniciar un período de control, por ejemplo, como se representa por la etapa 506 de la Figura 5, y comunicar los detalles del período de control a un CN 130. La distribución de las funciones de procesamiento puede reducir los requisitos de los procesadores de los CN y, por lo tanto, ahorrar los costos de estos elementos. La distribución de la funcionalidad de procesamiento también puede permitir el equilibrio de carga entre diferentes procesadores para obtener el uso más eficiente de los procesadores del sistema, y también para evitar la sobrecarga de los procesadores y el retraso asociado en la respuesta que esto produciría.

10 Se entenderá que cualquier modalidad ilustrativa descrita anteriormente con respecto al control de unidades de energía en respuesta a una cierta reducción en la frecuencia de la red puede aplicarse igualmente al control de unidades de energía en respuesta a un cierto aumento en la frecuencia de la red. Por ejemplo, puede ser que haya una disminución repentina en la demanda, por ejemplo, debido a una disminución correlacionada repentina en el consumo de energía de las luces de la calle que están configuradas en un temporizador. También puede haber un aumento, quizás repentino, en el suministro debido a, por ejemplo, una mala gestión o control erróneo de un generador o grupo de generadores, o, por ejemplo, un período excepcionalmente soleado y ventoso que permite a muchos parques eólicos y paneles solares proporcionar energía a la red a alta capacidad. En estos casos, puede haber más oferta que demanda de energía eléctrica, lo que puede conducir a un aumento, quizás repentino, en la frecuencia de la red. Este aumento de frecuencia puede poner, o puede determinarse que es probable que ponga, la frecuencia de la red fuera de un intervalo deseado de frecuencias alrededor de la frecuencia nominal de la red, por lo que el sistema de control, como se describió en detalle anteriormente con referencia a las modalidades ilustrativas, puede actuar para devolver la frecuencia monitoreada a su valor nominal o cerca de este. De la misma manera que se describió en detalle anteriormente, esto puede implicar el envío de instrucciones de control a las unidades de energía que proporcionan energía eléctrica para cesar o reducir su suministro, y/o el envío de instrucciones de control a las unidades de energía que consumen energía eléctrica para mantener o aumentar su consumo. En cualquier caso, como se describió en detalle anteriormente, las instrucciones de control se generan sobre la base de la información de perfil de las unidades de energía, y sobre la base de las características de variación determinadas. Por lo tanto, se apreciará fácilmente que las modalidades de la presente invención pueden aplicarse a variaciones de la frecuencia de la red, tanto de naturaleza creciente como decreciente.

30 Debe entenderse que cualquier característica descrita con relación a cualquier modalidad puede usarse sola, o en combinación con otras características descritas, y también puede usarse en combinación con una o más características de cualquier otra de las modalidades, o cualquier combinación de cualquier otra de las modalidades. Además, los equivalentes y modificaciones no descritos anteriormente también pueden emplearse sin apartarse del alcance de la invención, que se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de control (130) para usar en una red de energía eléctrica (100), la electricidad que fluye en la red (100) de acuerdo con una frecuencia de la red, en donde la red de energía eléctrica (100) se conecta a una o más de una pluralidad distribuida de unidades de energía (119) cada una dispuesta para consumir energía eléctrica desde y/o proporcionar energía eléctrica a la red de energía eléctrica (100) de modo que un cambio en el suministro y/o consumo de energía por dicha unidad de energía (119) resulta en un cambio en el flujo de energía en la red de energía eléctrica (100), lo que cambia así una contribución de la unidad de energía (119) a la frecuencia de la red, el sistema de control (130) que comprende:

un medio de procesamiento (304); y
un medio de comunicación (302),
en donde el medio de procesamiento (304) se dispone para:

monitorear una frecuencia de la red en una o más ubicaciones predefinidas en la red de energía eléctrica (100);
determinar que se han cumplido una o más condiciones relacionadas con la frecuencia monitoreada;
iniciar, en función de la determinación, un período de control durante el cual se controlará la frecuencia de la red en una o más de la una o más ubicaciones predefinidas;
determinar, con base en el monitoreo, una o más características de una variación, con el tiempo, durante dicho período de control, en la frecuencia de la red;
enviar, a través del medio de comunicación (302), instrucciones de control a una primera pluralidad de la pluralidad distribuida de unidades de energía (119), las instrucciones de control que son instrucciones para controlar el flujo de energía hacia y/o desde cada una de la primera pluralidad de unidades de energía (119) para controlar la frecuencia monitoreada, caracterizado porque las instrucciones de control se generan sobre la base de:

información de perfil relacionada con la pluralidad distribuida de unidades de energía (119), en donde la información de perfil incluye una o más características de consumo de energía de la primera pluralidad de unidades de energía (119) y/o la información de perfil incluye una o más características de suministro de energía de la primera pluralidad de unidades de energía (119); en donde la información de perfil se recupera de un almacenamiento de datos (306) que contiene dicha información de perfil de la primera pluralidad de unidades de energía (119); y
la una o más características determinadas de la variación en la frecuencia de la red,
de modo que la primera pluralidad de unidades de energía (119) proporciona una contribución que varía en el tiempo a la frecuencia de la red durante dicho período;
en donde la una o más características de la variación en la frecuencia de la red se determinan sobre la base de un pronóstico de una variación en la frecuencia de la red, en donde el pronóstico de la variación en la frecuencia de la red comprende: definir una serie de valores asociados con al menos una característica de frecuencia; y determinar una función polinómica, una función cónica, una función exponencial o una función de potencia con base en la serie de valores asociados con la al menos una característica de frecuencia.
2. Un sistema de control (130) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la primera pluralidad se selecciona de la pluralidad distribuida con base en la información de perfil.
3. Un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la selección de las unidades de energía (119) para incluir en la primera pluralidad se realiza en respuesta a la determinación de que se han cumplido la una o más condiciones relacionadas con la frecuencia monitoreada.
4. Un sistema de control (130) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 1 a la 3, que comprende el almacenamiento de datos (306) que almacena la información de perfil;
en donde el almacenamiento de datos (306) se dispone para almacenar la información de perfil relacionada con una o más características de consumo y/o suministro de energía de uno o más grupos de unidades de energía (119), en donde los grupos se forman por al menos parte de la primera pluralidad de unidades de energía distribuidas (119); y
en donde el uno o más grupos de unidades de energía consisten en las unidades de energía (119) con una o más de una clase de energía común o similar, característica de tiempo de respuesta, ubicación de la red y ubicación geográfica.
5. Un sistema de control (103) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el sistema de control (103) comprende uno o más dispositivos de medición (120) para realizar una o más mediciones relacionadas con la frecuencia de la red, y en donde la una o más características determinadas de la variación en la frecuencia de la red se derivan de la una o más mediciones; y/o
en donde el sistema de control (103) se dispone para recibir desde, uno o más dispositivos de medición remotos (120), una o más indicaciones de que se han cumplido la una o más condiciones relacionadas con la frecuencia monitoreada, y la determinación de que una o más condiciones relacionadas con la frecuencia monitoreada se han cumplido se basa al menos en parte en la condición; y/o
en donde la determinación de que se han cumplido la una o más condiciones comprende comparar uno o más valores asociados con la frecuencia monitoreada con uno o más umbrales.

6. Un sistema de control (103) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la determinación de que se han cumplido la una o más condiciones comprende comparar uno o más valores asociados con la frecuencia monitoreada con uno o más umbrales; y
 5 en donde la determinación comprende evaluar si el uno o más valores se encuentran dentro de uno o más intervalos, en donde cada uno del uno o más intervalos se define de modo que se encuentra entre dos de los umbrales, y en donde se cumplen la una o más condiciones cuando uno o más del uno o más valores se encuentran fuera de uno o más del uno o más intervalos; y
 en donde uno del uno o más valores se relaciona con un valor pronosticado de la frecuencia de la red.
- 10 7. Un sistema de control (103) de acuerdo con la reivindicación 6, en donde uno del uno o más valores se relaciona con el valor pronosticado de la frecuencia de la red;
 en donde el valor pronosticado se genera con base en el procedimiento de pronóstico, el procedimiento que comprende:
 15 definir una serie de valores asociados con la frecuencia monitoreada, y
 determinar una función polinómica con base en la serie de valores asociados con la frecuencia monitoreada.
8. Un sistema de control (103) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el medio de procesamiento (302) se dispone además para:
 20 definir una primera serie de valores asociados con una primera característica de frecuencia durante un primer período de tiempo y una segunda serie de valores asociados con la primera característica de frecuencia durante un segundo período de tiempo posterior;
 determinar una primera función polinómica que tiene un primer conjunto de coeficientes con base en dicha primera serie de valores y una segunda función polinómica que tiene un segundo conjunto de coeficientes con base en dicha segunda serie de valores;
 25 en donde las instrucciones de control se generan con base en una diferencia entre el primer conjunto de coeficientes y el segundo conjunto de coeficientes;
 en donde la determinación de que se han cumplido la una o más condiciones comprende evaluar una diferencia entre el primer conjunto de coeficientes y el segundo conjunto de coeficientes;
 en donde la determinación de que se han cumplido la una o más condiciones comprende, además, una
 30 determinación de que una diferencia entre uno de los coeficientes del primer conjunto de coeficientes y uno de los coeficientes del segundo conjunto de coeficientes está por debajo o por encima de un umbral predeterminado y/o dentro de un intervalo predeterminado; y
 en donde la característica de frecuencia se relaciona con una o más de una frecuencia de tensión alterna, una frecuencia de corriente alterna, una frecuencia de energía que fluye en la red de energía eléctrica (100); una
 35 velocidad de cambio de la frecuencia; y un período de la corriente alterna.
9. Un sistema de control (103) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde enviar las instrucciones de control comprende:
 40 enviar un primer conjunto de una o más instrucciones de control, y enviar, después de enviar el primer conjunto de una o más instrucciones de control, uno o más conjuntos adicionales de una o más instrucciones de control;
 en donde al menos uno del uno o más conjuntos adicionales de una o más instrucciones de control se genera en respuesta a una determinación, basada en un monitoreo, posterior al envío del primer conjunto de una o más instrucciones de control, de la frecuencia de la red, de que se han cumplido una o más condiciones adicionales;
 en donde la una o más condiciones adicionales comprenden que uno o más valores relacionados con la
 45 característica de frecuencia monitoreada están por debajo o por encima de un umbral predeterminado y/o dentro de un intervalo predeterminado de valores; y
 en donde al menos uno de los conjuntos adicionales de una o más instrucciones de control se envían a una segunda pluralidad de la pluralidad distribuida de unidades de energía, en donde la segunda pluralidad es diferente de la primera pluralidad.
- 50 10. Un sistema de control (103) de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en donde el medio de procesamiento (302) se dispone para generar un programa de control con base en la información de perfil y enviar las instrucciones de control con base en el programa de control, el programa de control que especifica una o más veces en las cuales controlar el flujo de energía hacia y/o desde la primera pluralidad de unidades de energía (119);
 55 en donde el programa de control se genera de acuerdo con un perfil temporal deseado de la frecuencia de la red monitoreada.
- 60 11. Un sistema de control (103) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las instrucciones de control comprenden una o más de: instrucciones para apagar, encender, aumentar o disminuir el suministro de energía, aumentar o disminuir el consumo de energía, cambiar el suministro y/o consumo de energía por un tiempo determinado, cambiar el suministro y/o consumo de energía de acuerdo con un perfil de tiempo específico; y/o
 65 en donde la una o más características de consumo y/o suministro de energía se relacionan con una o más de una capacidad de suministro, una capacidad de consumo, un tiempo de respuesta característico, una función de respuesta característica, un estado de suministro o consumo y un estado de disponibilidad.

12. Un método para controlar la frecuencia de la electricidad en una red de energía eléctrica (100), la electricidad que fluye en la red (100) de acuerdo con una frecuencia de la red, en donde la red de energía eléctrica (100) se conecta a una o más de una pluralidad distribuida de unidades de energía (119) cada una dispuesta para consumir energía eléctrica y/o proporcionar energía eléctrica a la red de energía eléctrica (100) de modo que un cambio en el suministro y/o consumo de energía por dicha unidad de energía (119) resulta en un cambio en el flujo de energía en la red de energía eléctrica (100), lo que cambia así una contribución de la unidad de energía (119) a la frecuencia de la red, el método que comprende:
- 5
10
15
20
25
30
35
- monitorear (502) una frecuencia de la red en una o más ubicaciones predefinidas en la red de energía eléctrica (100);
determinar (504) que se han cumplido una o más condiciones relacionadas con la frecuencia monitoreada;
iniciar (506), con base en la determinación, un período de control durante el cual se controlará la frecuencia de la red en una o más de la una o más ubicaciones predefinidas;
determinar (508), con base en el monitoreo, una o más características de una variación, con el tiempo, durante dicho período de control, en la frecuencia de la red;
enviar (512), a través de los medios de comunicación, instrucciones de control a una primera pluralidad de la pluralidad distribuida de unidades de energía (119), las instrucciones de control que son instrucciones para controlar el flujo de energía hacia y/o desde cada una de la primera pluralidad de unidades de energía (119) para controlar la frecuencia monitoreada, caracterizado porque las instrucciones de control se generan (510) con base en:
- la información de perfil relacionada con la pluralidad distribuida de unidades de energía (119), en donde la información de perfil incluye una o más características de consumo de energía de la primera pluralidad de unidades de energía (119) y/o la información de perfil incluye una o más características de suministro de energía de la primera pluralidad de unidades de energía (119);
en donde la información de perfil se recupera a partir de un almacenamiento de datos (306) que contiene dicha información de perfil de la primera pluralidad de unidades de energía (119); y
la una o más características determinadas de la variación en la frecuencia de la red, de modo que la primera pluralidad de unidades de energía (119) proporciona una contribución que varía en el tiempo a la frecuencia de la red durante dicho período;
en donde la una o más características de la variación en la frecuencia de la red se determinan con base en un pronóstico de una variación en la frecuencia de la red, en donde el pronóstico de la variación en la frecuencia de la red comprende: definir una serie de valores asociados con al menos una característica de frecuencia; y determinar una función polinómica, una función cónica, una función exponencial o una función de potencia con base en la serie de valores asociados con la al menos una característica de frecuencia.
13. Un programa informático que comprende un conjunto de instrucciones que, cuando se ejecutan en una unidad de procesamiento (304), hacen que la unidad de procesamiento (304) realice el método de la reivindicación 12.
14. Un medio legible por ordenador con un conjunto de instrucciones almacenadas en él que cuando se ejecutan en una unidad de procesamiento (304) hacen que la unidad de procesamiento (304) realice el método de la reivindicación 12.
- 40

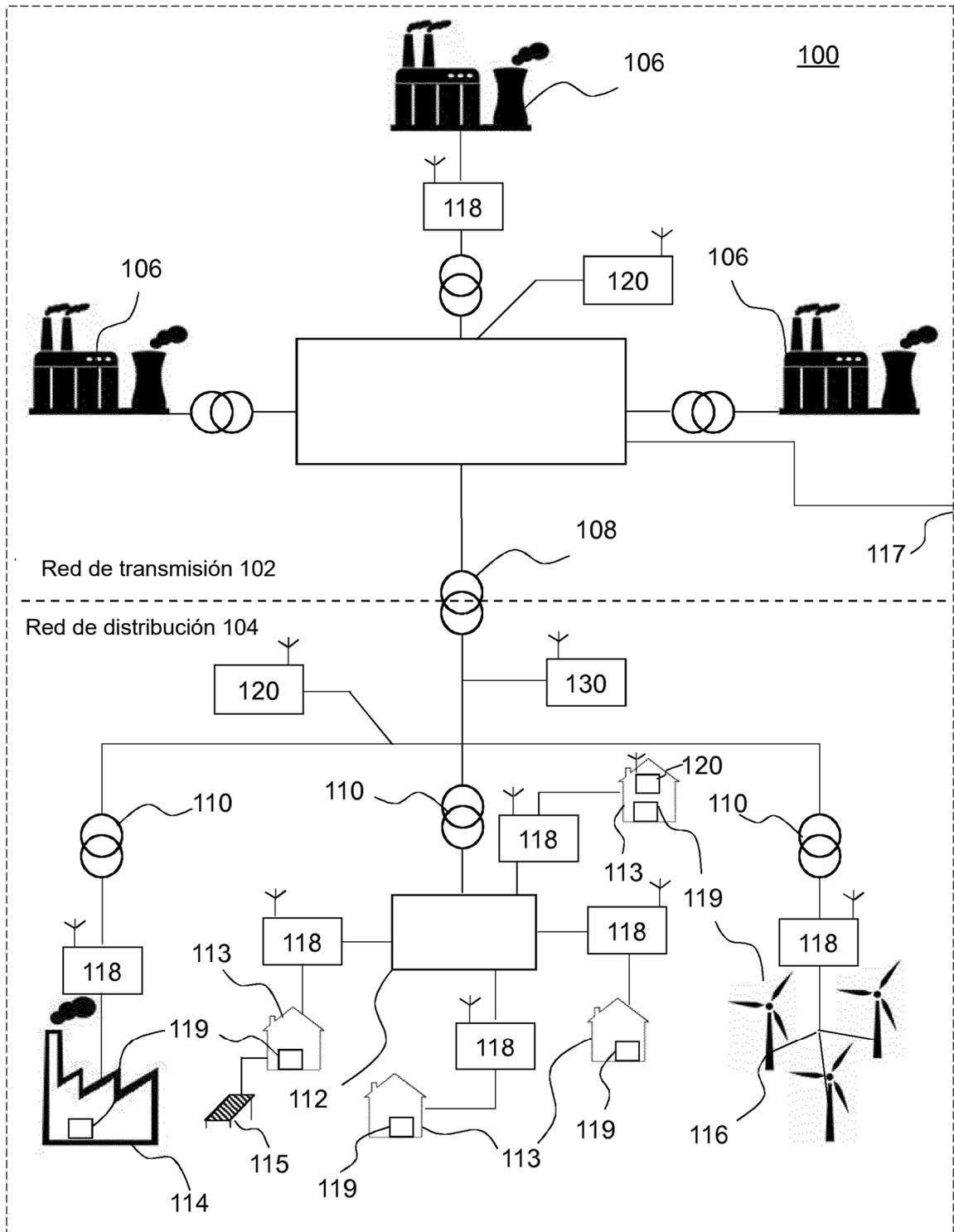


Figura 1

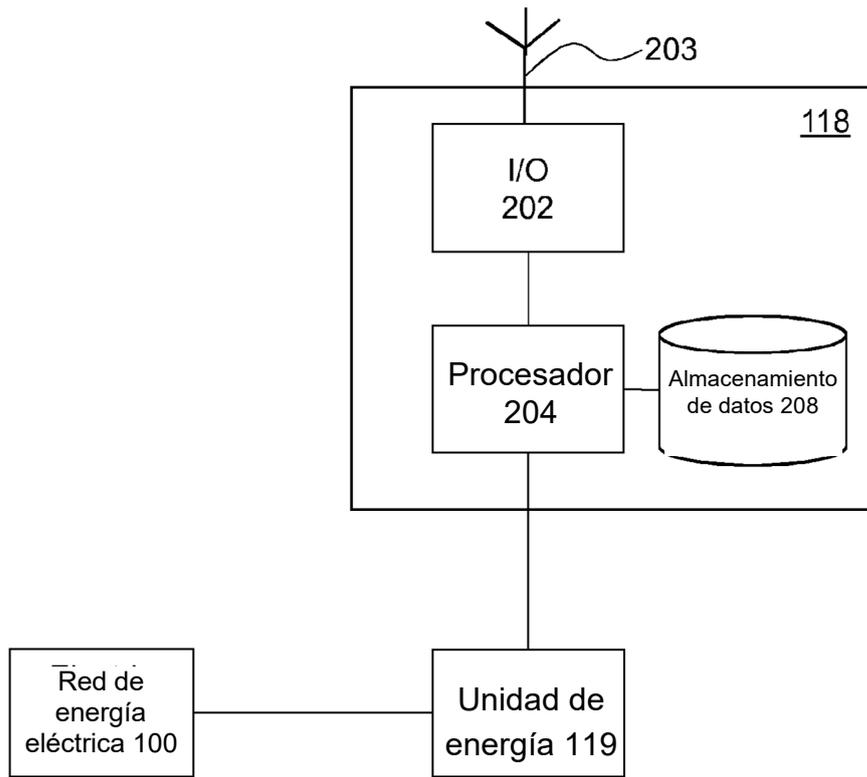


Figura 2a

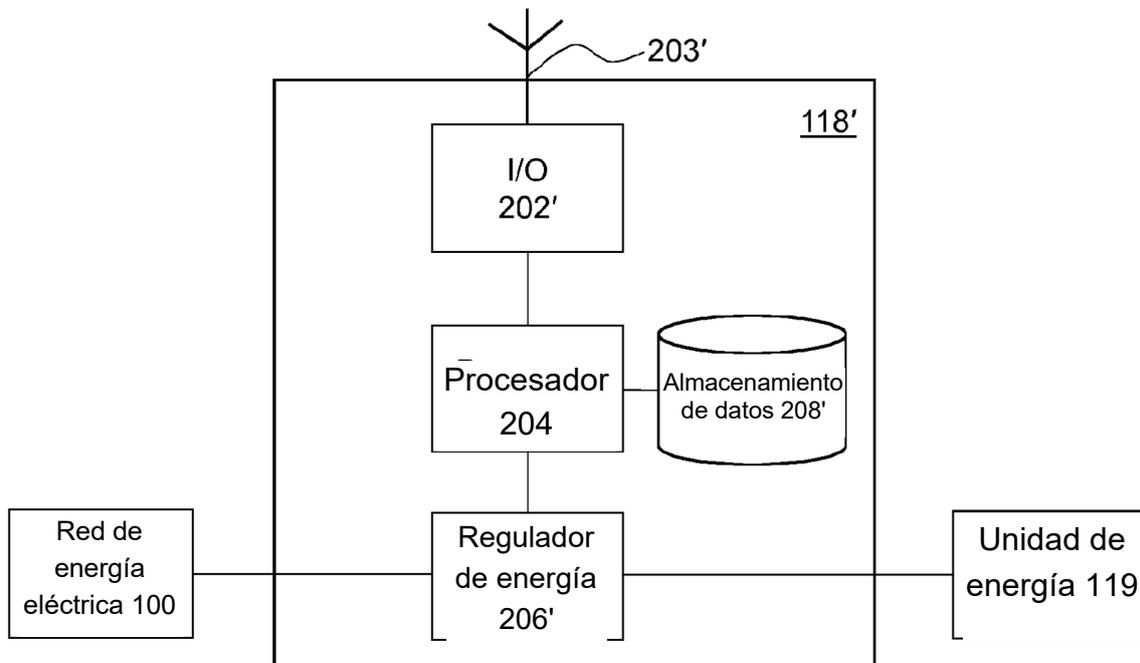


Figura 2b

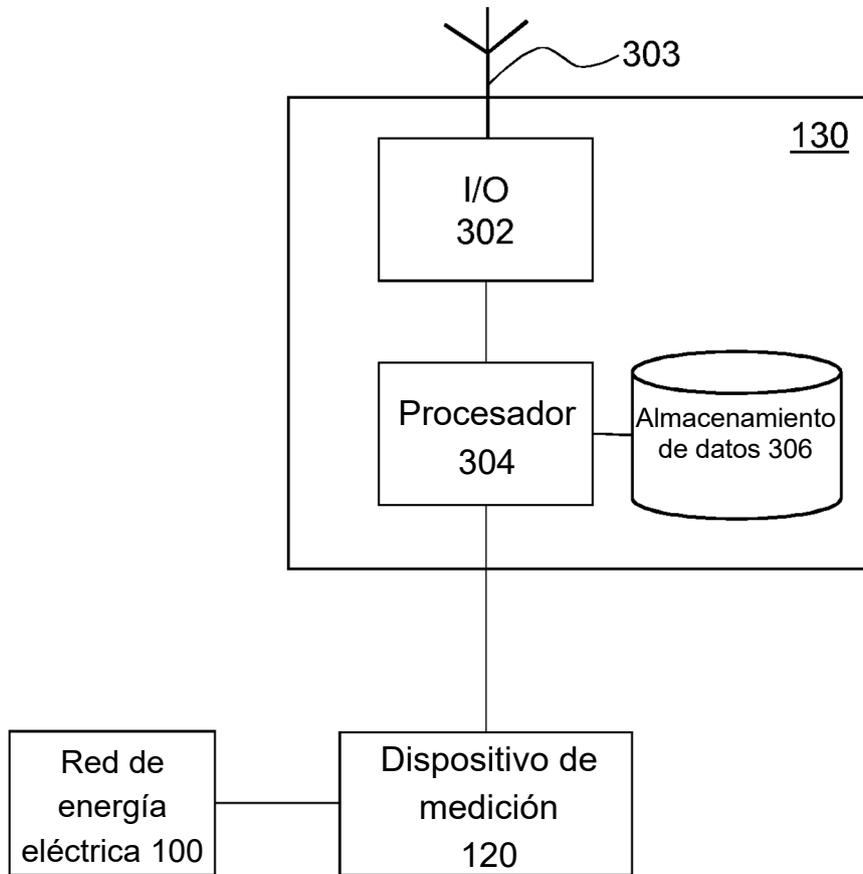


Figura 3

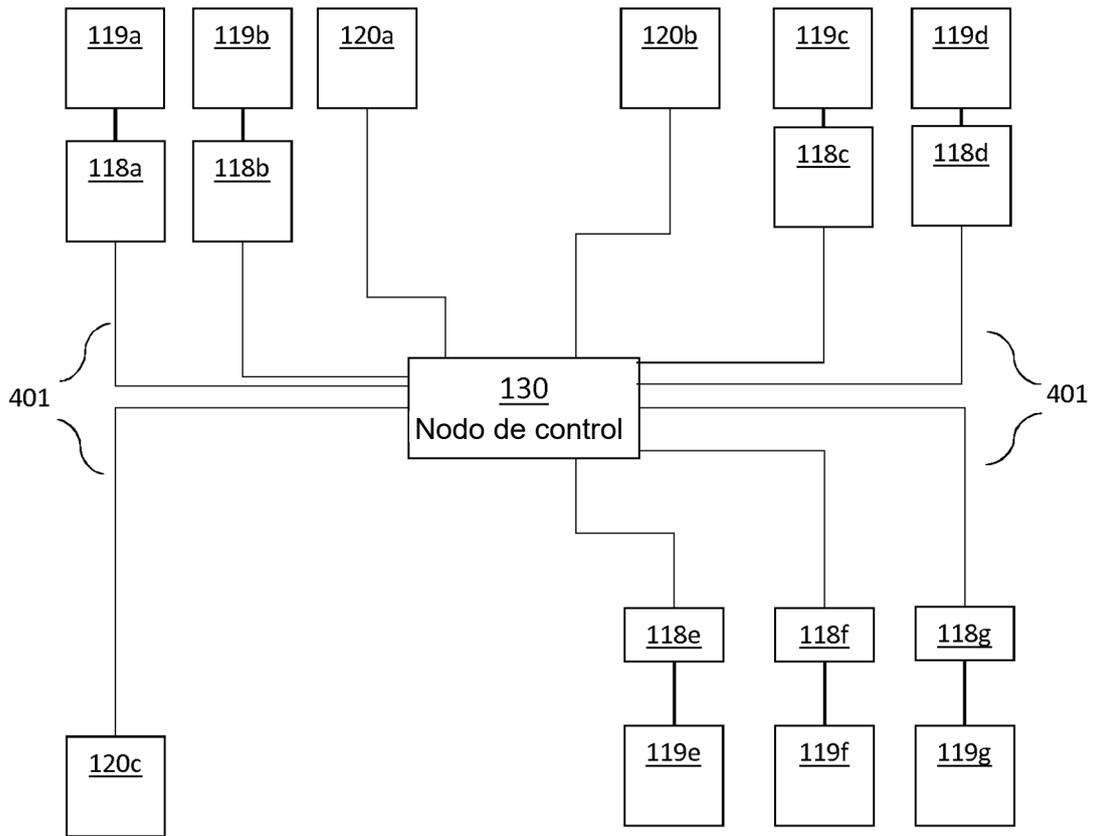


Figura 4

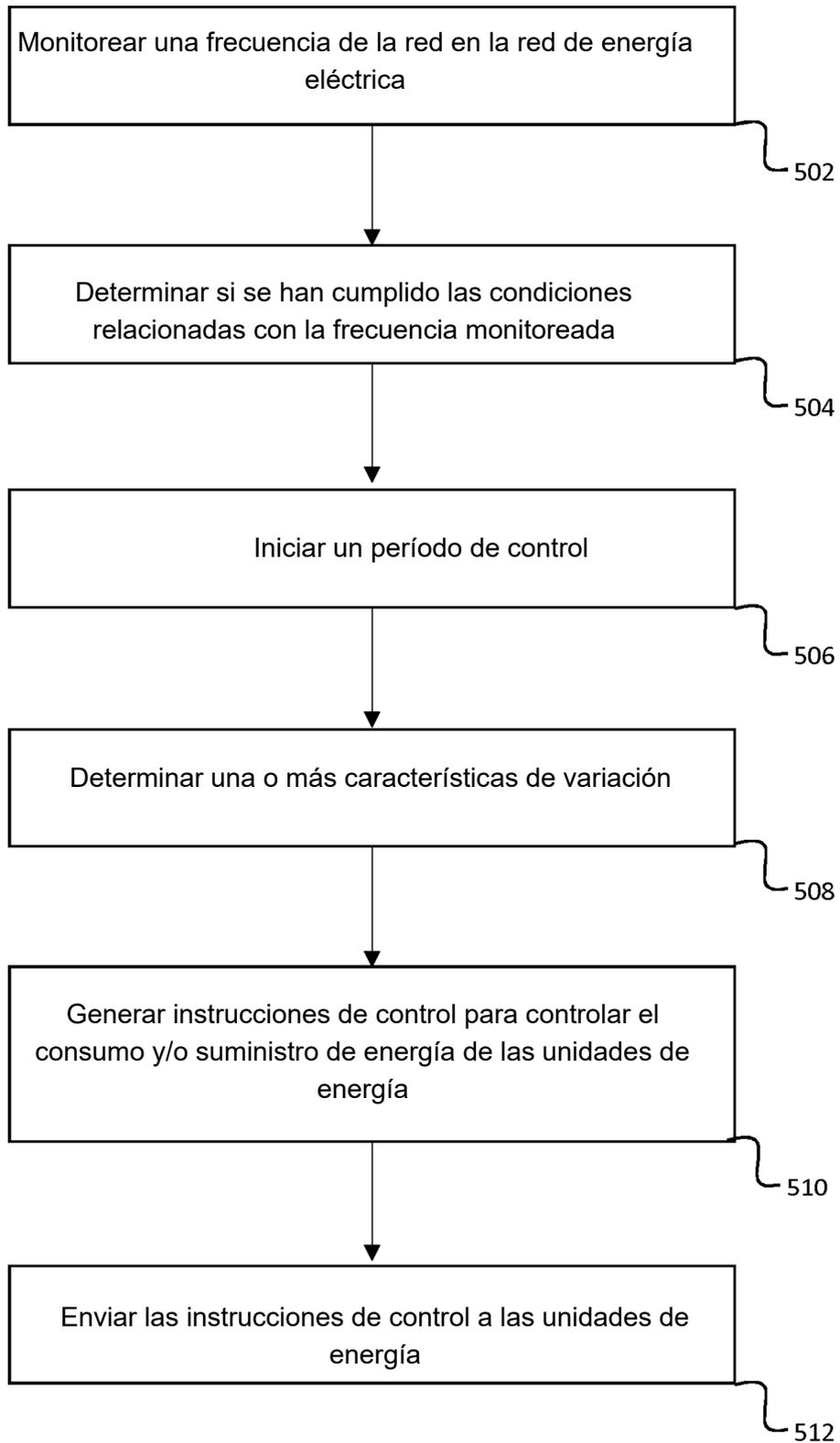


Figura 5

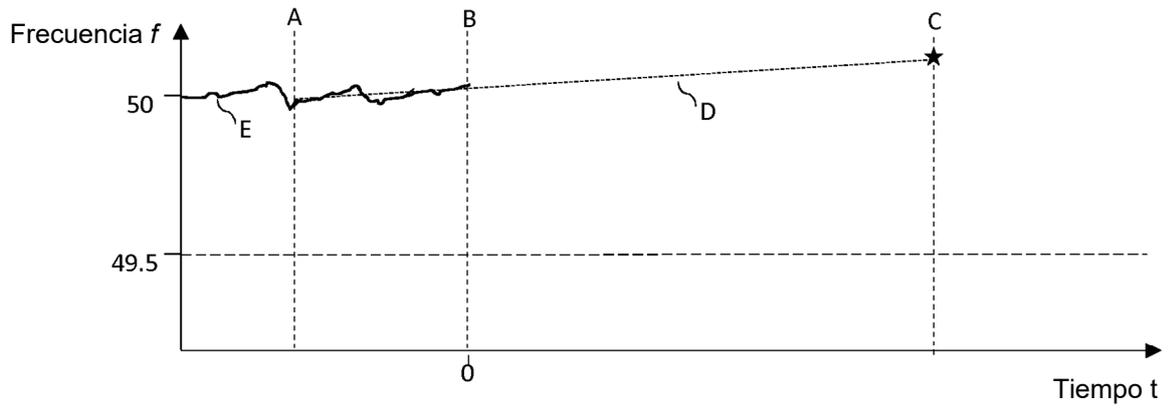


Figura 6a

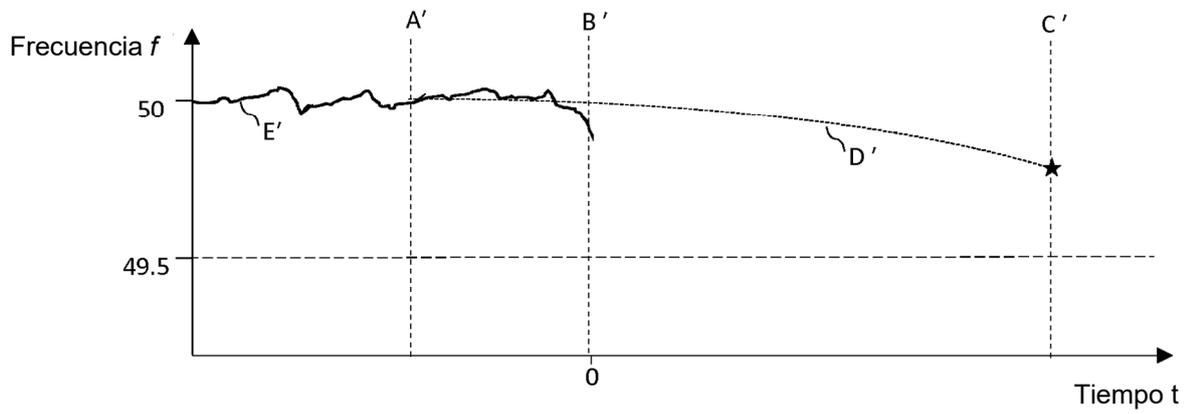


Figura 6b

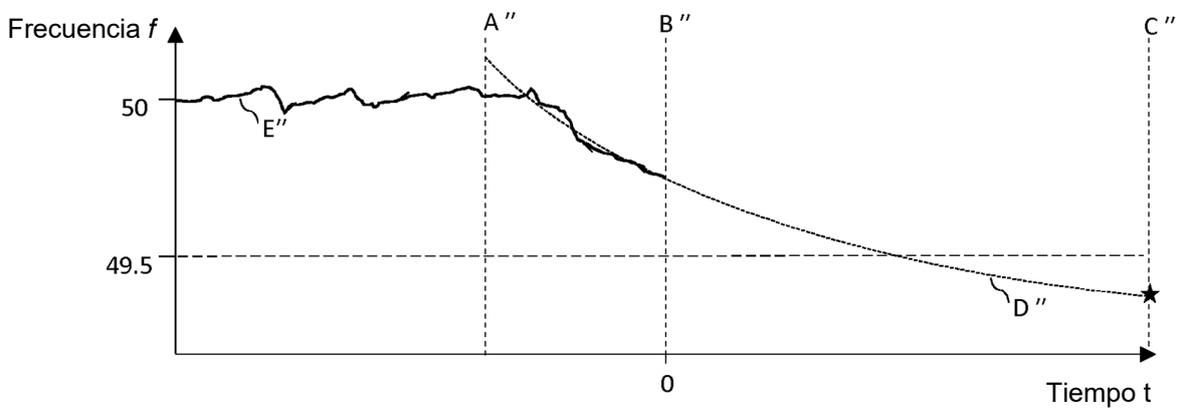


Figura 6c

