

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 622 113**

51 Int. Cl.:

G05F 1/66 (2006.01)

H02J 3/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.10.2014** **E 15169191 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.02.2017** **EP 2961022**

54 Título: **Cartera gestionada, sistema de respuesta a la demanda**

30 Prioridad:

21.10.2013 US 201361893845 P

18.12.2013 US 201314133002

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

05.07.2017

73 Titular/es:

REstore N.V. (100.0%)

Posthofbrug 12 b8

2600 Berchem (Antwerpen), BE

72 Inventor/es:

ROMBOOTS, JAN-WILLEM y

GHEERARDYN, JOS

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 622 113 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

Cartera gestionada, sistema de respuesta a la demanda

Campo de la invención

5 La presente invención se relaciona en general con la gestión de energía. Más específicamente, la presente invención se relaciona con el control local independiente de una carga de energía, por ejemplo, eléctrica, de gas, con base en gestión centralizada de la cartera.

Antecedentes de la invención

10 La gestión de la energía es buscada a muchos niveles hoy en día para diferentes tipos de energía. En el mercado de la electricidad hay una gestión local de la energía en sitios industriales o residencias, y la gestión de energía de la red de distribución y la red de transmisión. En el mercado del gas natural hay una gestión local así como una gestión en el sistema de transmisión de gas. Pero, los operadores de la red encuentran crecientemente difícil gestionar aspectos de sus respectivas redes de energía tales como: balanceo del suministro de electricidad con la demanda y respuesta a desviaciones en la frecuencia con respecto a la red eléctrica; y balanceo del suministro con la demanda y respuesta a cambios de presión con respecto a la red de gas natural.

15 En general, un operador de una red puede tener como mandato el comportamiento de, o proveer incentivos financieros para sus productores de energía o sus consumidores de energía con el fin de asegurar una red eléctrica o una red de gas natural estables y responsables. Específicamente, en el área de la electricidad, un operador de red puede comprar la capacidad de regulación de consumidores industriales y/o productores de energía. Un consumidor o productor que ofrezca tal servicio recibirá el mandato de reducir o incrementar su consumo de potencia cuando es requerido por el operador de la red con el fin de mantener estabilidad y calidad de la red. Puede haber un requerimiento específico de que una reducción o incremento en el consumo de energía sea estable durante un período relativamente largo de tiempo, o que tal reducción o incremento ocurra rápidamente. De manera importante, un operador de red desea gestionar las cargas a nivel de cartera en vez de al nivel de carga individual.

25 Un tiempo de respuesta rápido puede ser particularmente importante para un operador de una red de electricidad. Un operador de una red debe, por mandato, mantener la frecuencia de la energía ofrecida sobre la red estable, 60 Hz en los Estados Unidos y 50 Hz en Europa, pero puede ser difícil mantener la frecuencia de la red dentro de un margen permisible. Por ejemplo, si una planta de energía es desconectada inesperadamente, hay una gran cantidad de energía no disponible repentinamente, la demanda excede el suministro y la frecuencia de la red disminuirá. De la misma manera, la frecuencia sobre la red caerá si entran en línea grandes cargas industriales y el suministro es lento para satisfacer esa demanda. Si la frecuencia de la red disminuye, la frecuencia puede ser llevada a su nivel de referencia reduciendo el consumo de energía en la red o incrementando el suministro. Pero, puede ser complicado dar un mandato de reducción en el consumo de energía entre una colección diversa de consumidores industriales. Y, tal vez de manera más importante, puede ser muy difícil alcanzar una reducción en el consumo de energía tan rápidamente como lo busca un operador de la red para alcanzarla-típicamente en el orden de segundos, más que en el orden de minutos. Un sistema de gestión centralizada puede no ser capaz de detectar la desviación, programar una reducción en la energía, y suministrar las programaciones a las cargas industriales de manera confiable en cantidad tan corta de tiempo. Puede suceder también lo contrario. Cuando el suministro es mayor que la demanda, sucede por ejemplo en el caso de un presupuesto bajo de producción de energía renovable, la frecuencia se elevará por encima de su nivel de referencia, 50 Hz o 60 Hz. Esto puede ser compensado disminuyendo la producción de energía o incrementando el consumo de energía.

40 De la misma manera, en una red de gas natural, la presión tiene que ser mantenida a un cierto nivel de referencia. Aunque es mucho más fácil almacenar gas natural, hay casos en donde debido a un evento inesperado la presión de la red cae o se eleva. En este caso, el control de consumo en otros sitios, vecinos, es una solución para llevar la presión de regreso a su nivel de referencia original.

45 Las técnicas del arte anterior incluyen utilizar un conmutador binario sencillo a una carga que desconectará la carga total cuando el conmutador detecta que la frecuencia de la energía ha caído hasta un cierto nivel, por ejemplo, la carga es desconectada cuando la frecuencia cae a 49.9 Hz. Sin embargo, esta es una técnica estática en la cual el conmutador es un dispositivo de hardware aislado que está asegurado para desconectar siempre la carga a una frecuencia en particular; tal dispositivo podría conmutar de manera rígida la carga de tal manera por muchos meses o años sin tener en cuenta otra información. Está técnica también trabaja "unilateralmente", en el sentido de que no permite que los gestores operativos locales se rehúsen a "los requerimientos" de activación de energía con base en restricciones operativas o de negocio. Además, está técnica se lleva a cabo a nivel de carga y no se beneficia de ninguna optimización de la cartera.

50 La Patente de los Estados Unidos No. 8,417,391, concedida a Rombouts J.W. et al., "Automated demand-response

energy management system”, se relaciona principalmente con la determinación de los parámetros de control óptimos para cargas, y la utilización de estos parámetros para determinar programaciones. No discute una respuesta a la frecuencia, ni está dirigida a cómo superar la respuesta inherente relativa lenta del control central.

5 La EP 2560136 A1, a nombre de Massey J.S. et al., “Method, system and computer program product for scheduling demand events”, está relacionada principalmente con la programación de eventos de respuesta a demanda. Está metodología trabaja “unilateralmente” en el sentido de que no permite que los gestores operativos locales se reduzcan a “requerimientos” de activación de energía con base en restricciones operativas o de negocio. Además, está técnica se lleva a cabo a nivel de carga y no se beneficia de ninguna optimización de la cartera.

10 La EP 2595014 A2, a nombre de Greene et al., “Staggering and feathering of demand response and energy supply change in a energy management of an electrical system”, lleva a cabo el corte de picos en un sistema de energía cerrado, pero su carga no es disparada en un estado local.

La WO 2013010266 a nombre de Metcalfe et al., “Method and system for providing local primary frequency response”, optimiza la respuesta a caídas locales fijando puntos de control operativos, pero no hay una activación central de la cartera.

15 La US 2009/012916, que nombra Barnett, “Sistema y Método de Optimización de Energía”, describe en los párrafos [00841]-[0091] para optimizar el consumo de energía por cargas cuando cambia la frecuencia de la red. Las activaciones de carga se reducen centralmente si la frecuencia de la red está por debajo de una frecuencia nominal y aumenta cuando la frecuencia de la red está por encima de esa frecuencia nominal y se pueden tener en cuenta las restricciones de carga.

20 De acuerdo con lo anterior, hay necesidades técnicas que permitan que las cargas locales respondan rápidamente a cambios en las características de una red, tales como una desviación en la frecuencia de la red eléctrica, a la vez que permite todavía que un operador de la red gestione cargas a nivel de cartera.

Resumen de la invención

25 Para lograr lo anterior, y de acuerdo con el propósito de la presente invención, se divulga un sistema y técnicas para la gestión de energía que permite que un operador de una red gestione una cartera de cargas de energía a nivel de cartera agregada, a la vez que responde rápida y confiablemente a cambios en las características de la red.

30 Se utiliza una metodología híbrida en la cual un sitio central, basado en un mandato de un operador de la red para reducir, o incrementar, la energía de acuerdo con las desviaciones de frecuencia dentro de una banda de frecuencia, determina los disparadores de frecuencia óptimos a los cuales cada carga dentro de una cartera reducirían, o incrementarían, la energía. De manera simbólica, las cargas están “apiladas” dentro de su banda de frecuencia con el fin de optimizar la respuesta a una caída global de la cartera de tal manera que la energía confiable óptima es suministrada a la cartera en el caso de una desviación de frecuencia en la red. Estos disparadores, y las correspondientes reducciones individuales de carga de energía son entregados periódicamente desde el sitio central, en respuesta a cambios en el comportamiento de las cargas y las redes, a las cargas individuales. Cuando se presenta una desviación de la frecuencia, cada carga es capaz de reducir independientemente, esto es, sin interacción con el mundo exterior del sitio industrial, su consumo de energía de acuerdo con los disparadores y reducciones de energía correspondientes que ha recibido previamente. Cada disparador indica la carga para reducir o incrementar la energía de acuerdo con el estado de la red según se mida localmente: no se necesita basarse en el sistema central para detectar una desviación de frecuencia y luego entregar reducciones de energía en tiempo real.

40 Una característica muy útil de la invención es que puede utilizarse un conjunto amplio de cargas con confiabilidad variable para contribuir con energía flexible a la cartera. En efecto, las necesidades restrictivas del operador de la red en términos de confiabilidad de energía son un reto que se debe satisfacer utilizando una unidad de carga o producción, puesto que una carga individual típicamente no tiene energía flexible disponible el 100% del tiempo, bien sea porque las máquinas no están funcionando o por las condiciones circundantes industriales. Con esta invención, incluso los recursos con condiciones circundantes industriales complicadas o baja disponibilidad de energía pueden hacer parte de una cartera dentro de la cual su energía es utilizada para balancear la red. La consecuencia es que habrá más energía flexible a disposición del sistema, una ventaja clara para los operadores de red, y que los proveedores de tal energía flexible son capaces de aprovechar los incentivos monetarios ofrecidos por los operadores de la red para su servicio.

50 Realizaciones de la presente invención son capaces de gestionar de manera flexible una cartera de carga de tal manera que la cartera completa puede ser dirigida para desprender una cantidad total de energía cuando la frecuencia de la red está dentro de cierta banda de frecuencia. Por ejemplo, si la frecuencia de la red cae entre 49.8 Hz a 49.9 Hz, la presente invención es capaz de gestionar unas cargas de tal manera que la cartera completa es capaz de desprender hasta un objetivo de 10 MW, por ejemplo. En un ejemplo particular, si la frecuencia de la red

cae por debajo del límite superior en un 10%, hasta 49.89 Hz, la presente invención es capaz de reducir el consumo de su cartera en un 10% del objetivo, esto es, reducir su consumo en 1 MW. Así, la invención puede reducir el consumo de energía de una cartera con base en una reducción de frecuencia en una forma tanto lineal como no lineal, tal como digital. Sin embargo, una realización de la invención es capaz de responder y reducir el consumo de energía de la cartera dentro de aproximadamente un segundo asumiendo que, por ejemplo, parte de las cargas que constituyen la cartera tienen tiempos de respuesta suficientemente cortos.

Aunque se describen realizaciones que son pertinentes a una red eléctrica en la cual se detecta una desviación de frecuencia, la presente invención incluye un sistema y métodos más generales que proveen energía flexible altamente confiable, la respuesta rápida a partir de una cartera de cargas de energía distribuidas en respuesta a monitorización de señales locales en cada una de las cargas de energía. El sistema es altamente confiable porque una vez que libera parámetros que han sido enviados a cada una de las cargas de energía, cada carga de energía puede ajustar independientemente su consumo de energía en respuesta a una señal de la red medida localmente. Se provee confiabilidad adicional minimizando cuando se requiere una reconfiguración de cargas de energía, esto es, los parámetros de entrega. El sistema provee una respuesta rápida, del orden de 100 ms, debido a la capacidad de cada carga de energía local de llevar a cabo mediciones de señal locales en tiempo real y efectuar el control de su carga en tiempo real sin necesidad de esperar ninguna instrucción de una localización central cuando se mide una señal local significativa. Energía flexible significa que la cartera global de cargas puede incrementar o disminuir su uso de energía con base en la acción conjunta de todas las cargas locales dentro de la cartera.

Adicionalmente, aunque se describen realizaciones en las cuales las partes concuerdan cambios de consumo de energía particulares en respuesta a cambios de señal en la red, la invención se aplica de manera más general a una función de respuesta acordada que indica la respuesta de energía deseada de la cartera de cargas en respuesta a la señal. La función de respuesta puede ser lineal o no lineal; los cambios de energía específicos descritos más adelante en respuesta a cambios de frecuencia en la red son un ejemplo de una función de respuesta específica. Y, los parámetros de entrega descritos más abajo, por ejemplo, niveles de energía locales y disparadores de frecuencia asociados para cada carga, son un ejemplo específico de funciones de respuesta locales, derivados de la función de respuesta de la cartera, que son entregados desde el sitio central a las cargas individuales.

La presente invención está relacionada con un método para cambiar el consumo de energía de una cartera de cargas de energía conectada a una red de distribución de energía que tiene cada uno un consumo de energía, comprendiendo dicho método:

30 recibir, en una unidad central, una función de respuesta de cartera que indica una respuesta de energía deseada de dicha cartera de cargas de energía, ante una señal capaz de ser medida sobre dicha red de distribución en cada una de dichas cargas de energía;

recibir una función de optimización que tiene un término que indica para cada carga de energía una probabilidad de que dicha carga de energía tendrá una cantidad de energía disponible a valores de señal particulares;

35 maximizar dicha función de optimización para producir para dicha cada carga de energía una función de respuesta local que indica una cantidad de cambio de energía en respuesta a variaciones en dicha señal; y

enviar dichas funciones de respuesta local a sus respectivas cargas de energía desde dicha unidad central, por lo que dicha función de respuesta a la cartera se realiza mediante la operación combinada de dichas funciones de respuesta local.

40 Realizaciones del método de acuerdo con la invención, comprenden además:

después de dicho envío, la detección por cada una de dichas cargas de energía que dicha señal ha cambiado de un valor normal en cada una de dichas cargas de energía; y

45 en respuesta a dicha detección, cada carga de energía que cambia independientemente su consumo de energía por dicha cantidad de cambio de energía dictada por dicha función de respuesta local de cada una de dichas cargas de energía.

Realizaciones del método de acuerdo con la invención, comprenden además:

ordenar dichas cargas de energía disminuyendo la disponibilidad de energía de cada una de dichas cargas.

50 En realizaciones del método de acuerdo con la invención, dicha disponibilidad de energía es la probabilidad de que cada carga de energía sea capaz de cambiar su consumo de energía en el futuro por dicha cantidad de cambio de energía sin violar una condición de contorno de cada una de dichas cargas de energía.

En realizaciones del método de acuerdo con la invención, dicha función de optimización tiene además un término negativo que indica para cada carga de energía una probabilidad de que un tiempo de respuesta para cambiar dicho consumo de energía de cada una de dichas cargas de energía es mayor que un tiempo de respuesta requerido de un operador de red.

- 5 En realizaciones del método de acuerdo con la invención, dicha función de optimización tiene además un término negativo que indica para cada carga de energía una probabilidad de que dicha carga de energía tendrá una cantidad de energía disponible menor que un porcentaje de dicha cantidad de cambio de energía.

10 En realizaciones del método de acuerdo con la invención, dicha red de distribución de energía es una red eléctrica, en donde dichas cargas de energía son cargas eléctricas, y en donde dicha señal es una frecuencia de dicha red eléctrica.

En realizaciones del método de acuerdo con la invención, dicha frecuencia es inferior que una frecuencia de operación normal de dicha red de electricidad, comprendiendo adicionalmente dicho método:

- 15 ordenar dichas cargas eléctricas disminuyendo la probabilidad de que cada una de dichas cargas eléctricas podrá reducir su consumo de energía en el futuro por cada una de dicha cantidad de cambio de energía, cargas con una probabilidad más alta que tengan una función de respuesta local que responda a valores más altos de dicha frecuencia.

En realizaciones del método de acuerdo con la invención, dicha frecuencia es más alta que una frecuencia de funcionamiento normal de dicha red eléctrica, comprendiendo además dicho método:

- 20 ordenar dichas cargas eléctricas disminuyendo la probabilidad de que cada una de dichas cargas eléctricas podrá reducir su consumo de energía en el futuro por cada una de dicha cantidad de cambio de energía, cargas con una probabilidad más alta que tengan una función de respuesta local que responda a valores inferiores de dicha frecuencia.

25 En realizaciones del método de acuerdo con la invención, un operador de red de dicha red de energía requiere que dicho consumo de energía de dicha cartera de cargas de energía cambie en dicha cantidad de energía deseada cuando dicha señal varíe a lo largo de un rango de señal.

En realizaciones del método de acuerdo con la invención, dichas cargas de energía son cargas de gas, en donde dicha red de distribución de energía es una red de distribución de gas, y en donde dicha señal es una presión de dicha red de gas.

30 En realizaciones del método de acuerdo con la invención, dicha función de respuesta de cartera es una función lineal.

La presente invención se relaciona adicionalmente con un sistema para cambiar el consumo de energía de una cartera de cargas de energía conectada a una red de distribución de energía que tiene cada una un consumo de energía, comprendiendo dicho sistema:

- 35 una unidad de cómputo central dispuesta para recibir una función de respuesta de cartera que indica una respuesta de energía deseada de dicha cartera de cargas de energía a una señal capaz de ser medida sobre dicha red de distribución en cada una de dichas cargas de energía, estando dispuesta dicha unidad de cómputo central para recibir una función de optimización que tiene un término que indica para cada carga de energía una probabilidad de que cada una de dicha carga de energía tendrá una cantidad de energía disponible a valores de señal particulares;

40 una unidad de cómputo de algoritmo acoplada a dicha unidad de cómputo central dispuesta para maximizar dicha función de optimización para producir para cada una de dicha carga de energía una función de respuesta local indicando una cantidad de cambio de energía en respuesta a variaciones en dicha señal; y

45 una unidad de cómputo de entrega acoplada a dicha unidad de cómputo central y dispuesta para entregar dichas funciones de respuesta local a sus respectivas cargas de energía a partir de dicha unidad de cómputo central, por lo que dicha función (504) de respuesta a la cartera se realiza mediante la operación combinada de dichas funciones de respuesta local.

En realizaciones del sistema de acuerdo con la invención, dicha red de distribución de energía es una red eléctrica, en donde dichas cargas de energía con cargas eléctricas, y en donde dicha señal es una frecuencia de dicha red eléctrica.

Breve descripción de los dibujos

La invención, junto con las ventajas adicionales de la misma, puede ser entendida mejor con referencia a la siguiente descripción tomada en conjunción con los dibujos acompañantes.

La figura 1 ilustra un sistema de distribución de energía de acuerdo con una realización de la invención.

- 5 La figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra una realización de un sistema de manejo de energía usado en conjunción con el sistema de distribución de energía.

La figura 3 es una gráfica que muestra la frecuencia de una red de energía a lo largo de un barrido de tiempo de aproximadamente 25 minutos.

- 10 La figura 4 es una gráfica de la distribución de probabilidad de una frecuencia particular que ocurre dentro de la banda de frecuencia para una red de energía particular.

La figura 5 es otra gráfica de la distribución de probabilidad de una frecuencia particular que ocurre entre una frecuencia f_1 y una frecuencia f_2 .

La figura 6 es una gráfica que ilustra cómo la energía consumida por dos cambios de carga con el tiempo afecta así la configuración de las cargas.

- 15 La figura 7 es una gráfica que ilustra cómo una cartera de cargas locales responde a cambios en frecuencia de una red de energía.

La figura 8 es un diagrama de bloques más detallado de la unidad central y de las unidades locales, sitios de carga, de la figura 2.

- 20 La figura 9 es un diagrama de flujo que describe el proceso mediante el cual la configuración de las cargas ocurre centralmente en una unidad central, por ejemplo.

La figura 10 es un diagrama de flujo que describe una realización mediante la cual puede llevarse a cabo la etapa 716.

La figura 11 ilustra cómo la Carga 2 restringirá su energía en respuesta a una disminución de la frecuencia de red utilizando los parámetros de entrega mostrados en la Tabla 1.

- 25 La figura 12 ilustra el efecto de utilizar un parámetro de retardo.

La figura 13 es un diagrama de flujo que describe una realización en la cual una unidad local entrega puntos de fijación de máquina para su carga.

La figura 14 es un diagrama de flujo que describe un proceso de reconfiguración de la invención.

- 30 Las figuras 15A y 15B ilustran un sistema de ordenador adecuado para implementar realizaciones de la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones

- 35 Tal como se mencionó más arriba, la presente invención es aplicable a energía suministrada a través de una red de distribución que permite distribución continua. Esto incluye energía suministrada a través de electricidad o gas natural. Aunque la invención está descrita con respecto a cargas individuales que desprenden energía cuando la frecuencia cae, la invención es igualmente aplicable a cargas solicitantes para incrementar el consumo de energía cuando la frecuencia se eleva o cambia en un estado de red diferente a esa frecuencia. Y, aunque la descripción que sigue provee numerosos ejemplos pertinentes a la red de electricidad, una persona experimentada en el arte entenderá que la invención es igualmente aplicable a otros tipos de redes de distribución de energía que tienen diferentes estados de red, y que estas redes de distribución de energía también se beneficiarán de la optimización a nivel de cartera implementada independientemente a nivel local como se describe a continuación.
- 40

Sistema de distribución de energía

La figura 1 ilustra un sistema 100 de distribución de energía de acuerdo con una realización de la invención. De manera ventajosa, la presente invención provee a cualquiera de un cierto número de actores en energía la

capacidad de mandar que una cartera de cargas reduzca su consumo de energía en cantidades prescritas en respuesta a una reducción de frecuencia en la red, y alcance una respuesta en el orden de 100 ms utilizando control independiente a nivel de carga local. Un operador de red puede requerir que una cartera de consumidores industriales reduzca su consumo de energía en respuesta a una reducción de frecuencia y un requerimiento típico es que el tiempo de respuesta para reducir la energía sea del orden de segundos, tal como 15 segundos. Un sistema completamente centralizado, con un tiempo de respuesta relativamente lento, que controla las cargas de una cartera puede no ser capaz de alcanzar este tiempo de respuesta. Adicionalmente, los conmutadores de carga locales del arte anterior son rígidos, no tienen en cuenta los cambios en la red o entre las cargas, y no ajustan las cargas individuales de la cartera en una forma coordinada. De acuerdo con lo anterior, la presente invención utiliza una metodología híbrida en la cual una unidad central determina periódicamente los disparadores de frecuencia para cada carga con base en la optimización de la cartera completa y luego libera estos disparadores de tal manera que cada carga puede actuar inmediatamente e independientemente de la unidad central para reducir la energía cuando se detecta una reducción de frecuencia.

Se muestra una red 104 de transmisión típica que transmite electricidad a lo largo de grandes distancias. Una instalación 106 de energía produce electricidad a través de medios tradicionales tales como una planta de quema de carbón, una planta nuclear, una planta de quema de petróleo, una planta de gas natural, etc., y también puede utilizar fuentes renovables tales como las generadas por viento, biomasa, solar, hidroeléctrica, olas o mareas. Tradicionalmente, una compañía de servicio producirá y suministrará energía, aunque ahora un productor de energía podría producir energía pero no suministrarla, mientras que un proveedor de energía suministra electricidad a los consumidores pero podría no producirla. Tal proveedor de energía puede o puede no tener instalaciones de producción en sí mismo, y es típicamente activo como un comerciante de energía, comprando y vendiendo energía dependiendo de las condiciones del mercado y los cambios de cartera. Todas estas instalaciones, productores y proveedores están abarcados generalmente con la referencia 106.

La red 104 de transmisión está conectada a una red 112 de distribución local que suministra la energía a consumidores residenciales, comerciales e industriales de electricidad. Además de las instalaciones y las redes, los operadores de las redes tienen también una mano en el suministro de energía. Un operador de un sistema de transmisión, TSO, 108, por ejemplo Elia System Operator SA de Bélgica, o la National Grid Electricity Transmission PLC del Reino Unido, mantiene la estabilidad de la parte de alto voltaje de la red de transmisión mientras que un operador de un sistema de distribución, DSO, 114, por ejemplo, Energinet en Dinamarca, Eandis o Infrax en Bélgica, etc., mantiene la estabilidad de la red 112 de distribución a bajo voltaje. Cada uno de TSO o DSO podría también manejar voltaje medio. Otra entidad es un individuo, o una función, en un proveedor de energía denominado un balanceador 116 quien busca mantener el balance tanto en el suministro de energía como en la demanda para evitar ineficiencias y para evitar multas impuestas por el TSO. Una entidad similar es un comercializador 116, también en el proveedor, quien comercializa energía con otros actores de la energía. Cada uno de 108, 114 o 116 puede usar un ordenador 121-123 conectado a una red global tal como el internet. Todas estas entidades que manejan colectivamente productores, proveedores, instalaciones, operadores, balanceadores y comercializadores de energía son denominados colectivamente como los "actores de la energía".

Tal como será explicado en mayor detalle más adelante, un operador de red, tal como una TSO o DSO, o un proveedor de energía, que tiene mandato para mantener su propio suministro y cartera de demanda balanceados, está en comunicación con una unidad central, incluyendo ordenadores servidores, bases de datos, métodos y hardware de comunicación, permitiendo que cada operador de red o proveedor ordene las reducciones de energía prescritas de una cartera de cargas para que ocurran dentro de un cierto número de segundos en respuesta a desviaciones particulares de la frecuencia en la red. La Patente de los Estados Unidos No. 8,417,391 divulga técnicas para maximizar la flexibilidad de energía de una carga de energía y por lo tanto se incorpora aquí como referencia.

Sistema de manejo de energía

La figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra una realización de un sistema 140 de manejo de energía utilizada en conjunción con el sistema 100 de distribución de energía. Se muestra una unidad 160 central en comunicación con un operador 210 de red y cualquier número de cargas 180-186 de energía en una cartera. La unidad 160 central incluye un ordenador 162 de interfaz con usuario, servidores 164 para ordenador y una base de datos 168, y está basada preferiblemente en la nube, aunque se contemplan otros esquemas tales como servidores en un centro de datos colocalizados, una infraestructura de servidores dedicada, ordenadores personales, o un ambiente distribuido. En una realización la unidad 160 central es manejada por Restore N.V. de Bélgica y la unidad es un conjunto de servidores dedicados en un centro de datos colocalizado.

En una realización, el ordenador 162 de interfaz, u ordenadores, manejan el sistema 140 y proveen una interfaz a los ordenadores 164 y a las cargas 180-186; coordina la comunicación con el operador 210 de red y con las cargas; y generalmente provee un extremo frontal a la unidad central. La unidad central recibe los términos de contrato del operador 210 de red indicando una función de respuesta de cartera particular que define la cantidad de energía flexible que va a ser provista como una función de una señal que puede ser medida localmente sobre la red, por

ejemplo, una banda de frecuencia, un tiempo de respuesta, y cuánta potencia debería desprender la cartera global de cargas si la frecuencia cae al punto más bajo de esa banda. Con base en esos términos, la unidad central calcula un conjunto de parámetros de entrega local para cada carga en la cartera utilizada para configurar la unidad de procesamiento de cada carga. Estos parámetros de entrega describen una función de respuesta local que define la cantidad de energía que va ser provista por cada una de las cargas individuales como respuesta a un cambio medido localmente en la señal de red. Los parámetros de entrega son enviados a cada carga y cada carga es capaz entonces de gestionar su energía en tiempo real con base en una desviación de frecuencia que detecta localmente. El operador de red no envía directamente señales a las cargas individuales ni controla directamente las cargas en tiempo real. Un ejemplo típico de tal función de respuesta local describe una relación lineal entre la desviación de frecuencia de la red y la cantidad de energía flexible provista. Enfocaremos la atención en este ejemplo en el texto que sigue. Nótese, sin embargo, que la función de respuesta local, que mapea la señal local a la energía flexible, puede tener un comportamiento no lineal también.

Ejemplos de funciones de respuesta no lineales incluyen los siguientes. El ejemplo más simple de una función de respuesta no lineal es una función de respuesta digital tal como "si frecuencia $< X$, entonces no hacer nada; si frecuencia $\geq X$, proveer la cantidad máxima de energía flexible". En otro ejemplo, se asume una red de gas natural y que se utiliza un contenedor de gas para balancear. En este caso, la función de respuesta podría parecer tal como $V = \text{signo}(\partial, \partial^\alpha)$, donde V es el volumen que agregamos, o retiramos en caso de que V sea negativo, del contenedor, ∂ es la diferencia entre la presión de referencia y la presión real en la red de gas, α es un parámetro y el signo (x , es $+1$ cuando $x > 0$ y -1 cuando $x < 0$).

El ordenador 162 es cualquier ordenador adecuado, tal como un ordenador portátil o de mesa, utilizado por un individuo para gestionar el sistema 140. Los datos pueden ser almacenados dentro de la base de datos, o bases de datos, 168. Un motor de algoritmos y un motor de entrega ejecutan el ordenador servidor 164 o servidores, con el fin de llevar a cabo las técnicas descritas aquí. La unidad 160 central tiene una comunicación con una red 170 de comunicación con la cual se comunica con todas las diversas cargas que gestiona. Los parámetros de entrega pueden ser suministrados a través de una red 170 de comunicaciones a cada una de las cargas 180-186. En una realización, los servidores en cada carga están conectados de manera segura a través de IPSec VPNs a una red inalámbrica privada y a VPN privado utilizando cable de fibra, lo cual permite el acoplamiento de sistemas de control locales y cargas que tienen conectividad en internet, utilizando sistemas inalámbricos o conectadas directamente a la red de cable de fibra privada. En el sitio de cada carga, se instala un amortiguador para gestionar la transferencia de datos entre los servidores 164 y los sistemas de control local de las cargas.

Ejemplos de carga 180-186 eléctricas que pueden beneficiarse del uso de la presente invención son sitios de manufactura, almacenes de enfriamiento, ordenadores, hornos industriales y otras cargas térmicas, ordenadores, centros de datos, redes para recarga de vehículos eléctricos, plantas hidroeléctricas para almacenamiento bombeado, electrólisis industrial, equipos agrícolas, equipos HVAC, equipos para el manejo de materiales, sistemas para el bombeo de petróleo y gas, cervecerías, etc. En general, una carga eléctrica es adecuada para uso con la presente invención en tanto la carga esté conectada a la red eléctrica, y que bien tenga un sistema de control local unido a la misma, o que pueda ser conectada a un sistema de control local. Cada carga es en general una máquina autónoma o un conjunto de máquinas en un sitio industrial que acuerda estar sujeto a un control de nivel de energía por la unidad central. Estos sitios industriales pueden conectarse a la red de electricidad desde diferentes localizaciones geográficas, y típicamente son partes de corporaciones industriales separadas.

Ejemplos de configuración de carga

La figura 3 es una gráfica 300 que muestra la frecuencia 310 de una red de energía a lo largo de un lapso de tiempo de aproximadamente 25 minutos. Una banda 314 de frecuencia varía desde 49.8 Hz hasta 49.9 Hz. Como se muestra, la frecuencia cae por debajo de 49.9 Hz durante un período de tiempo antes de elevarse de nuevo. Un conjunto de cargas 318 ordenadas muestra Cargas 1, 2 y 3 ordenadas en una forma particular dentro de la banda 314 de frecuencia y que representan una cantidad particular de energía, en este caso, 10 MW, que puede ser entregada. En este ejemplo, se asume que un operador de red a dictado términos de contrato a la unidad central proveyéndola con la banda 314 de frecuencia y la cantidad de 10 MW que debe ser entregada por la cartera de cargas si la frecuencia cae a 49.80 Hz.

Se entiende que dentro de una carga de cartera, puede ser deseable desconectar, o reducir la energía, a cargas en un orden particular. Por ejemplo, las Cargas 1, 2 y 3 se muestran organizadas de tal manera que la Carga 1 será dirigida para reducir el consumo de energía en 3 MW, por ejemplo, si la frecuencia cae por debajo de 49.9 Hz, la Carga 2 reducirá la energía en 4 MW si la frecuencia cae por debajo de aproximadamente 49.87 Hz, y la Carga 3 reducirá la energía en 3 MW si la frecuencia cae por debajo de aproximadamente 49.83 MHz. Así, si la frecuencia de la red cae a cualquier lugar en la banda de frecuencia de 49.8 Hz a 49.9 Hz, la invención es capaz de reducir el consumo de energía de la cartera en hasta 10 MW. En este ejemplo, una activación de la cartera de cargas se presenta cuando la frecuencia cae a 49.9 HZ, y una activación de cada carga individual sucede cuando se alcanza su punto de disparo de la frecuencia unida superior, por ejemplo, 49.87 Hz en el caso de la Carga 2.

Adicionalmente, las cargas pueden ser ordenadas en la banda de frecuencia dependiendo de criterios tales como: cargas con la energía máxima disponible se pueden ordenar más arriba, cargas que tengan energía disponible para un período de tiempo más largo pueden ser ordenadas más arriba, cargas con la menor volatilidad son ordenadas más arriba, cargas con el tiempo de respuesta más rápido son ordenadas más arriba, etc. La energía disponible se refiere a la flexibilidad de energía de una carga en particular. Por ejemplo, si la Carga 1 opera normalmente a 5 MW, o necesita esta cantidad con el fin de operar, o legalmente se espera esta cantidad, pero temporalmente reduce su consumo de energía a 2 MW de energía, produciendo un impacto aceptable sobre la carga con el cual concuerda el operador de carga, entonces puede decirse que la Carga 1 tiene una disponibilidad de energía de 3 MW, significando que su energía puede ser reducida en una carga de 3 MW para una cierta duración. El grado de esa duración está definido típicamente por un amortiguador dentro del sistema industrial en sí mismo. Un ejemplo es la baja temperatura de un almacén de enfriamiento. Cuando los compresores, que producen la baja temperatura, son desconectados por una cantidad de tiempo limitada, esto tiene solamente un impacto moderado en la temperatura dentro del almacén de enfriamiento en un plazo corto a medio. De la misma manera, si un fabricante tiene cierta reserva de bienes producidos, la planta puede detener la producción durante una cierta cantidad de tiempo mientras se entregan los productos de la reserva. Otras cargas pueden tener una disponibilidad de potencia inferior y pueden ser ordenadas más abajo en el cúmulo. Por el contrario, una carga que opera actualmente a 5 MW de energía puede ser capaz de aceptar otro 1 MW de energía y todavía funcionar apropiadamente, teniendo así una disponibilidad de energía de 1 MW, en la realización en la cual se pide que las cargas consuman más energía. Incluso si la disponibilidad instantánea de energía de una carga es regularmente alta, puede ser más importante que la energía esté disponible para una cantidad particular de tiempo. Así, puede ordenarse una carga que tiene una cierta disponibilidad de energía durante un período relativamente largo de tiempo más alta que una carga similar que tiene una disponibilidad de energía mucho mayor pero fluctuante. En general, la energía disponible se refiere a la energía de una carga que puede ser desconectada, o incrementada, de manera confiable, sin romper ninguna condición de contorno industrial de la carga, esto es, ninguna restricción que dicte cómo la carga debería ser operada.

La volatilidad de la carga se refiere a la cantidad de cambio de consumo de energía de una carga durante el tiempo. Algunas cargas pueden estar siempre en volatilidad cero, mientras que otras cargas pueden muy frecuentemente iniciar o suspender una alta volatilidad. Una carga altamente volátil no puede depender de la energía entregada rápidamente si hay una alta probabilidad de que la carga se agote. Las cargas menos volátiles pueden ser ordenadas más arriba en la lista. Un tiempo de respuesta rápido significa que la carga es capaz de entregar una cierta cantidad de energía de una manera relativamente rápida. En el dominio de la respuesta de frecuencia a la demanda, las cargas que pueden responder en el orden de segundos pueden ser ordenadas más arriba en la lista. La determinación del ordenamiento de las cargas puede utilizar uno de estos criterios, puede basarse en una combinación de estos criterios, y es dependiente de los términos de contrato para el operador de red. En general, las cargas que son más capaces de entregar energía de manera confiable son ordenadas más arriba en el cúmulo.

Como se muestra, las Cargas 1, 2 y 3 reciben la asignación de sub-bandas de frecuencia que no se superponen. Sin embargo, es posible que las cargas sean ordenadas de tal manera que una o más cargas se superpongan. Por ejemplo, ambas Cargas 1 y 2 pueden ser ordenadas primero de tal manera que ambas cargas sean dirigidas a entregar energía cuando la frecuencia cae por debajo de 49.9 Hz. O, si la Carga 1 representa la banda de frecuencia de 49.9 Hz hacia abajo hasta aproximadamente 49.87 Hz, la Carga 2 puede ser ordenada de tal manera que represente la banda de frecuencia de 49.89 Hz hacia abajo hasta 49.83 Hz. Adicionalmente, no es estrictamente necesario que las bandas de frecuencia sean contiguas. Por ejemplo, si la Carga 1 representa la banda de 49.9 Hz hasta 49.87 Hz, la Carga 2 puede representar la banda de 49.85 Hz a 49.83 Hz. Y, una sub-banda de frecuencia puede ser simplemente una frecuencia individual, por ejemplo, 49.84 Hz, en vez de un rango de frecuencias.

Como se mencionó, la presente invención tiene un tiempo de respuesta rápido en cuanto a que sí la frecuencia de la red cae por debajo de un punto disparador para una carga particular, la carga puede entregar la energía requerida inmediatamente, esto es, en el orden de segundos o menos. Por ejemplo, asumiendo que la Carga 1 es una carga binaria que actualmente consume 6 MW, y que tiene una disponibilidad de energía de 3 MW, si la frecuencia cae por debajo de 49.90 Hz la carga detectará la frecuencia de red localmente y cortará 3 MW inmediatamente.

La figura 4 es una gráfica 340 de la distribución de probabilidad de una frecuencia particular que se presenta dentro de la banda 314 de frecuencia para una red de energía particular. Como se muestra en la gráfica 340 es altamente probable que cuando la frecuencia cae por debajo de 49.9 Hz habrá una variación 344 desde aproximadamente 49.86 Hz hasta aproximadamente 49.88 Hz, y es improbable que la frecuencia caiga mucho por debajo de aproximadamente 49.85 Hz. Con el fin de responder a las desviaciones de frecuencia más probables, puede ser importante que se usen cargas confiables para entregar energía cuando se presentan las desviaciones de frecuencia más probables. De acuerdo con lo anterior, las cargas pueden ser acumuladas como se muestran en 318 de tal manera que una carga más capaz de entregar energía de manera confiable se coloque más arriba en el cúmulo que una carga que es menos capaz de entregar energía. Así, en este ejemplo la Carga 1 es colocada más arriba en el cúmulo y cubre la sub-banda de frecuencia que incluye la región 344 porque ha sido determinado que la Carga 1 es la carga más confiable. De la misma manera, las cargas menos confiables son colocadas más abajo en el cúmulo porque es menos probable que haya un desplazamiento de frecuencia que requiera estas cargas menos confiables para entregar energía.

La figura 5 es otra gráfica 360 de la distribución de probabilidad de una frecuencia particular que se presenta entre la frecuencia f_1 y la frecuencia f_2 . Como se muestra, las frecuencias más probables de la red de energía se presentan en 374 y 378, mientras que las frecuencias menos probables se presentan a 384 y dentro de la región difícilmente a 388. En esta realización alternativa, puede ser más importante acumular cargas de tal manera que las cargas sean capaces de entregar energía cubriendo frecuencias correspondientes a regiones pico 374 y 378. Así, las cargas pueden ser ordenadas de tal manera que las cargas más capaces de entregar energía puedan ser activadas cuando la frecuencia está en 374 y 378, mientras que las cargas menos capaces de entregar energía pueden ser activadas cuando la frecuencia está en 388. A diferencia de la acumulación descrita más arriba con respecto a la figura 4, una carga correspondiente a las frecuencias en 384 puede ser menos capaz de entregar energía que una carga correspondiente a las frecuencias a 378.

La figura 6 es una gráfica 400 que ilustra como la energía consumida por dos cambios de cargas con el tiempo afecta así la configuración de las cargas. En este ejemplo, el uso de energía en porcentaje está representado gráficamente contra el tiempo. Se muestra una Carga 1 y una Carga 2 que consumen energía durante un período de tiempo, en este caso más de 97 minutos. En un primer tiempo 432 la Carga 1 está en una capacidad del 100% y tiene una energía más estable mientras que la Carga 2 está a menos de una capacidad de 80% y tiene una energía menos estable. La unidad central puede decidir entonces que con base en la estabilidad de la Carga 1 y su mayor disponibilidad de potencia, esta debería ser ordenada por encima de la carga 2 en la banda de frecuencia. El orden de activación se muestra en la lista 442, significando que a medida que la frecuencia de la red cae en una banda de frecuencia particular, la Carga 1 será activada primero. Esta lista es entregada a las cargas individuales, junto con los otros parámetros de entrega, no mostradas.

Sin embargo, en el tiempo 434 la energía consumida por la Carga 1 está cayendo dramáticamente y su porcentaje de uso de energía es inferior que el uso de energía de la Carga 2. Por ejemplo, el uso de energía promedio de la Carga 2 está ligeramente por encima de 70% mientras que el uso de energía de la Carga 1 cae por debajo de 70%. Con base en esta información, la unidad central decide entonces reconfigurar estas cargas. Por ejemplo, puede fijarse un parámetro que requiere la reconfiguración si el uso de energía de una carga cae por debajo de un umbral de 70%. Puesto que la Carga 1 tiene ahora un uso de energía inferior que la Carga 2, y puede tener menos disponibilidad de energía, se produce una nueva lista 444 ordenada por la unidad central que muestra la Carga 2 colocada más arriba que la Carga 1 incluso aunque la Carga 2 sea menos estable. Además, la cantidad de energía flexible atribuida a la Carga 2 puede ser incrementada mientras que la de la Carga 1 disminuiría. Esta nueva lista es entregada entonces a las cargas individuales.

En el tiempo 436 el uso de energía de la Carga 1 se ha elevado por encima de un umbral particular, o ha regresado a un estado particular, el cual de nuevo indica una reconfiguración de las cargas por parte de la unidad central. De acuerdo con lo anterior, una nueva lista 446 ordenada es producida y entregada a las cargas. Asociada con cada carga en la lista ordenada hay una sub-banda de frecuencia que indica en qué frecuencia, o frecuencias, la carga particular debería entregar energía y por cuanto, por ejemplo, tal como se muestra en la figura 3. En este ejemplo, la configuración y reconfiguración de las cargas se presenta antes de que la frecuencia de la red caiga en las sub-bandas de frecuencia cubiertas por las Cargas 1 y 2. En una realización particular, cada carga necesita recibir solamente su colocación en la lista y sus parámetros de entrega específicos.

En otro ejemplo de reconfiguración, se consideran las cargas de la figura 3. Si la frecuencia cae en la sub-banda correspondiente a la Carga 2, la Carga 1 se ha cortado, entregando 3 MW, y la Carga 2 a comenzado a entregar energía. En el curso de la monitorización continua del estado de cada carga, la unidad central detecta que la Carga 1 debe ser encendida de nuevo, tal vez debido a una restricción del proceso. Por lo tanto, se presenta una reconfiguración; la Carga 1 de nuevo consume 3 MW y se pide que la Carga 3 se desconecte, entregando 3 MW. Efectivamente, esto da como resultado un reordenamiento del cúmulo de carga de tal manera que la Carga 3 está en la parte superior, la Carga 2 permanece en el medio y la Carga 1 está en la parte inferior. Así, puede presentarse una reconfiguración mientras que la frecuencia de la red está en la banda de frecuencia mandada así como ocurre antes de que la frecuencia caiga en la banda.

La figura 7 es una gráfica 500 que ilustra como una cartera de cargas locales responde a cambios de frecuencia en una red de energía. Como se muestra, el eje x es la frecuencia de la red de energía y el eje y es la energía total requerida para que la red permanezca estable, desde la perspectiva de una planta de energía que produce energía. El punto 502 representa una red en su frecuencia deseada, por ejemplo, 50 Hz en Europa. La línea 504 es el nivel de energía requerido, indicando que a medida que la frecuencia de la red cae, se requiere más energía suministrada, o una reducción en energía utilizada por las cargas, para estabilizar la red. Por el contrario, a medida que la frecuencia se eleva, se produce menos energía, o se requiere un incremento en la energía usada por las cargas, para estabilizar la red. Este ejemplo muestra que un operador de red desea una respuesta lineal a una desviación en la frecuencia.

Se muestra un dominio 510 de frecuencia particular entre la frecuencia f_1 y la frecuencia f_2 para una cartera de cargas 522-526 locales. En este ejemplo, un operador 210 de red a requerido que la unidad 160 central gestione la energía usada por la cartera 522-526 de cargas de tal manera que la energía total usada por la cartera sea reducida

si la frecuencia de la red cae a cualquier lugar en la banda de frecuencia entre f_1 y f_2 . La frecuencia cae entre 502 y f_1 puede ser manejada de otras maneras así como para incrementos de frecuencia por encima de 502.

De acuerdo con lo anterior, la unidad 160 central determina que la frecuencia histórica en la red tiene una probabilidad mostrada por la distribución 530 entre las frecuencias f_1 y f_2 . La unidad central también determina que dividirá el dominio 510 de frecuencia entre subdominios 542-546, y que las cargas locales serán ordenadas: 522, 524 y 526. Así, cuando la frecuencia caiga por debajo de f_1 y este dentro del primer subdominio 542, la carga 522 local reducirá su consumo de energía en una cantidad designada. Cuando la frecuencia sobre la red está dentro del segundo subdominio 544, la carga 524 local reducirá su consumo de energía en una cantidad designada. De manera similar, la carga 526 local reduce su consumo de energía en una cantidad designada cuando la frecuencia está dentro del subdominio 546. Cada cantidad designada es determinada a priori por la unidad central, puede ser diferente para cada carga, y, el total de la cantidad designada es la reducción de nivel de energía total requerida por el operador de la red si la frecuencia cae a f_2 . De manera ventajosa, estos subdominios de frecuencia, el ordenamiento de las cargas locales y la cantidad designada para cada carga son determinados por la unidad central y son entregados a cada carga. Así, cada carga local es capaz de detectar independientemente una reducción en frecuencia sobre la red para reducir su propia utilización de energía según se indique sin esperar ningún comando desde la unidad central para reducir la energía. A cualquier frecuencia dada dentro de la banda f_1 - f_2 , el efecto combinado de todas las reducciones de energía por parte de las cargas locales será equivalente a la reducción de energía requerida por el operador de red para esa cartera.

Diagrama de bloques

La figura 8 es un diagrama de bloques más detallado de la unidad central y las unidades locales, sitios de carga, de la figura 2. Como se mencionó, un sistema central que no solamente determine cuáles cargas ajustar pero también controle directamente cada carga en respuesta a la desviación de la frecuencia no será rápido o confiable lo suficientemente cuando son frecuentemente necesarios tiempos de respuesta del orden de segundos. Por ejemplo, cuando hay una desviación significativa de frecuencia en la red y el consumo de energía de una cartera de cargas debe disminuirse inmediatamente, la ejecución de los cálculos y el envío de las señales de control desde un sistema central a cada carga individual serán demasiado lentos. Si sucede que la comunicación con una de las cargas falla durante tal desviación, la energía de la carga no será capaz de ser restringida, significando que no habrá entrega de energía al operador de la red en tal sistema centralizado. La presente invención aborda estos problemas.

En general, la gestión de la cartera es manejada centralmente mediante un motor 622 de algoritmo y un motor 624 de entrega que pueden ejecutarse en el servidor 164 de ordenador en la unidad 160 central, por ejemplo. El control distribuido es manejado por cada sitio 180, 181 de carga utilizando unidades de ordenador 670, 680 locales. El motor 624 de entrega monitoriza continuamente cada estado de carga, consumo de energía, disponibilidad de energía, estabilidad de energía, etc., sobre la red 170 de comunicaciones, y entrega un nuevo conjunto de parámetros de entrega para cada unidad local si el motor 622 de algoritmo indica la necesidad de una reconfiguración de las cargas dentro de la cartera. El motor 622 de algoritmo es responsable de aprender el comportamiento de cada carga dentro de la cartera y de recalcular un conjunto de parámetros de entrega locales para cada carga basado en: estimación y predicción de la capacidad de cada carga para entregar energía, y estimación y predicción del estado de la red de energía. Así, el motor de algoritmo creará periódicamente una lista ordenada de cargas, tal como la mostrada en la figuras 3, 6 y 7, y también creará un conjunto específico de parámetros de entrega locales para cada carga. Cada conjunto de parámetros de entrega incluye una sub-banda de frecuencia en la cual la carga local debería entregar energía, y cuanta energía debería ser entregada. La unidad central en esencia crea una carga virtual, un agregado en su cartera de carga locales, que es la respuesta de frecuencia óptima para la red.

Como se mencionó, el control local está distribuido entre las cargas de la cartera. Una vez que cada carga, por ejemplo, la unidad 670 local de carga 180 ha recibido su conjunto particular de parámetros de entrega locales desde la unidad 160 central cada carga es capaz de reducir su energía independientemente de cualquier control central. Si la frecuencia de la red cae, cada carga reducirá la energía de acuerdo con su conjunto de parámetros de entrega sin que sea necesario esperar ninguna señal de comandos de la unidad central. Así, la gestión de la cartera es implementada sin depender de ninguna unidad central que detecte una desviación de la frecuencia en tiempo real. El control local es más robusto e incrementa el tiempo de respuesta.

Al usar el medidor 674 de frecuencia y el medidor 676 de energía, cada carga es capaz de detectar de manera continua la frecuencia actual de la red y su propio consumo de energía. Si la frecuencia en la carga alcanza el punto disparador de la carga, o está dentro de la sub-banda de frecuencia, entonces la carga es activada inmediatamente e independientemente utiliza sus parámetros de entrega para reducir su consumo de energía. Como es sabido en el arte, un Fieldbus 678 es un protocolo para red de ordenadores utilizado en la industria para control distribuido en tiempo real de maquinaria industrial. Una persona experimentada en el arte entenderá como utilizar un Fieldbus y el hardware y controladores de ordenador asociados con el fin de reducir el consumo de energía en una carga. Desde luego, también pueden utilizarse otros protocolos de red para controlar la maquinaria en una carga.

- Así, una sub-banda de frecuencia y una reducción de energía por mandato recibido de la unidad central en un tiempo anterior a la desviación de frecuencia se utilizan para reducir la energía consumida por la carga con base únicamente en la información obtenida localmente cuando se presenta esa desviación de frecuencia. Una vez que la frecuencia de la red cae en la sub-banda de frecuencia para una carga particular no hay necesidad de que la carga espere instrucciones de la unidad central. También, con base en la retroalimentación de las cargas, la unidad 160 central puede reconfigurar periódicamente las cargas y distribuir nuevos parámetros de entrega locales a cada una de las cargas. Los parámetros de entrega pueden cambiarse con base en cambios detectados dentro de una carga tal como una reducción en la energía utilizada por la carga, estabilidad de energía disminuida en la carga, tiempo de respuesta incrementado por la carga, disponibilidad de energía disminuida, carga no disponible, etc.
- 5
- 10 Puesto que cada carga recibe periódicamente sus propios parámetros de entrega, cada vez que se detecta una activación, esto es, se detecta frecuencia de la red por debajo de un umbral particular, cada carga es capaz de ajustar independientemente su consumo de energía. Así, un híbrido de control central y control local se utiliza con el fin de no solamente gestionar la cartera como un todo, sino también para responder tan rápidamente como sea posible a una activación.
- 15 Diagramas de flujo – Configuración central
- La figura 9 es un diagrama de flujo que describe el proceso mediante el cual la configuración de las cargas se presenta centralmente en la unidad 160 central, por ejemplo. La etapa 708 de monitorización local monitoriza el estado de cada una de las cargas locales tales como un consumo de energía instantáneo, frecuencia de red, temperatura y la carga y otros estados variables relevantes para cada recurso flexible, tales como corriente en un horno eléctrico, presión en un compresor, temperatura interna en un cuarto de refrigeración, etc. Esta información de estado es recibida en el motor 624 de entrega y es alimentada en la forma de registros en el motor 622 de algoritmo. La etapa 712 de monitorización no local incluye otros datos relevantes no específicos para una carga particular tal como la frecuencia de la red medida por el operador de la red, energía suministrada a la red, la temperatura promedio a lo largo de la región en donde se presenta la transmisión o distribución, cantidad de energía importada desde los países vecinos, precio puntual de la electricidad, etc. Esta información es alimentada en la forma de datos de mercado y registros en el motor 622 de algoritmo también. La base de datos 720 histórica también acepta en tiempo real la información local y no local almacenando así la información histórica para ser usada para predicciones. Por ejemplo, una historia de la utilización de energía de una carga particular puede ser utilizada para predecir cómo la carga usará la energía en el futuro, y una historia de la frecuencia de la red puede ser utilizada para predecir cuándo hay probabilidad de una desviación de la frecuencia. Esta información histórica también es alimentada en la forma de registros y la historia de configuración en la etapa 716 de configuración.
- 20
- 25
- 30 Una etapa 730 de predicción recibe información de la monitorización y desde la base de datos histórica con el fin de predecir un estado futuro de la red de energía, tal como su frecuencia, o un estado de una carga, tal como la disponibilidad de potencia para cada carga, la volatilidad de la potencia que se debe esperar, cómo los parámetros monitorizados relacionados con las condiciones de contorno industriales cambiarán, etc. Por ejemplo, la etapa 730 puede predecir que en media hora habrá una caída de frecuencia de 80 mHz, requiriendo así que el 80% de la energía contratada sea activada. Esta información puede ser utilizada entonces en la etapa 716 para configurar la cartera de cargas.
- 35
- Además, la etapa de calibración recibe los términos 734 de contrato de un operador 210 de la red. Como se mencionó previamente, el operador de la red puede entrar en acuerdo con un operador de la unidad central que requiere que la unidad central reduzca energía a una cartera en particular de cargas cuando la frecuencia de la red de energía cae a dentro de una banda de frecuencia particular. Por ejemplo, la figura 3 ilustra simbólicamente tales términos de contrato en los cuales la unidad central está obligada a comenzar a reducir la energía a su cartera de cargas cuando la frecuencia cae por debajo de 49.9 Hz, y está obligada adicionalmente a reducir la energía en un total de 10 MW si la frecuencia cae a 49.8 Hz. Un término contractual adicional puede dictar que la energía será reducida linealmente en respuesta a una reducción de frecuencia, por ejemplo, una reducción de 1 MW para cada caída de .01 Hz por debajo de 49.9 Hz. En otras palabras, un término contractual puede dictar que la energía consumida por la cartera completa es reducida *pro rata* de acuerdo con la desviación de la frecuencia. En otras realizaciones, un término de contrato puede dictar una relación no lineal entre una desviación de frecuencia y una reducción de energía requerida, tal como la desconexión de una carga o cargas completamente cuando una frecuencia particular se dispara por debajo de aproximadamente diez segundos, por debajo de aproximadamente quince segundos, etc., y puede incluir la longitud de la restricción de energía. Nótese que los requerimientos del operador de la red están a nivel de la cartera; el operador de la red no dicta cambios de energía a nivel de carga individual en respuesta a desviaciones de la frecuencia.
- 40
- 45
- 50
- 55 Como se mencionó anteriormente, la invención en general se aplica a la optimización del rendimiento de una cartera de cargas de energía en respuesta a señales medidas localmente, así como a las realizaciones de respuesta a frecuencia descritas. En general por lo tanto, la monitorización 708 local incluye el estado de cada carga de energía dentro de la cartera, y para una carga eléctrica, incluye otra información de estado tal como el estatus de equipos individuales, encendido/apagado/fallos, variables de proceso, temperatura o presión de fluidos o gases en un

proceso industrial, etc. También, restricciones, condiciones de contorno industrial, sobre cada carga de energía son tenidas en cuenta cuando se determinan los puntos fijos de máquinas locales en la etapa 768, pero también pueden ser considerados durante la etapa 716. Adicionalmente, aunque los términos 734 contractuales anteriores son pertinentes a una desviación de frecuencia, puede introducirse cualquier término contractual adecuado que requiera un cambio de energía particular de la cartera en respuesta a una señal medida localmente de la red eléctrica. Ejemplos de tales términos contractuales son las respuestas requeridas de cargas cuando el voltaje o corriente medidos localmente en la red exceden, o están por debajo de, ciertos niveles. Y, la monitorización 712 no local incluye cualquiera de los datos relevantes mencionados más arriba u otros datos que sean pertinentes a la capacidad de predecir la disponibilidad de energía de la carga de energía, o que son pertinente a los términos contractuales.

La figura 10 es un diagrama de flujo que describe una realización mediante la cual puede llevarse a cabo la etapa 716 de configuración. En la etapa 804 se recuperan los datos históricos de la base de datos 720 tal como datos locales para cada carga que incluyen el consumo de energía a lo largo del tiempo, frecuencia medida en la carga, otra información del estado de la carga que indica cómo la carga ha consumido energía, por ejemplo, temperatura interna de la carga y otras variables del estado de la carga, y cuándo la carga no ha estado disponible debido a, por ejemplo, problemas en máquinas, reparaciones, mantenimiento, tiempo de desconexión de la planta, etc. Los datos históricos no locales también son recuperados tales como una temperatura regional, datos de red, incluyendo frecuencia, desbalance global, importación/exportación, etc., y precio puntual de la electricidad.

En la etapa 808 se construye un modelo estadístico para cada carga individual y también para la cartera de cargas. Utilizando la información histórica, el modelo estadístico por carga modela el consumo de energía de la carga con el tiempo y puede ser utilizado para estimar la disponibilidad de energía de cada carga. Además de los datos locales que registran la energía utilizada por la carga con el tiempo, otros datos locales registran la disponibilidad de energía de las cargas flexibles. Por ejemplo, los datos locales también registran cargas que pueden ser conectadas o desconectadas, o tienen su consumo de energía reducidos sin efectos adversos. Además de un modelo estadístico por carga, puede construirse un modelo estadístico conjunto para la cartera completa utilizando cada modelo de carga y la información de correlación para la carga como un todo. Por ejemplo, para una cartera de cuartos fríos, la temperatura de la región es una información de correlación relevante que puede ser utilizada para construir un modelo estadístico conjunto. Los modelos estadísticos pueden ser construidos utilizando una variedad de técnicas; específicamente, pueden usarse técnicas tales como procedimientos de comparación momentánea, modelos ARIMA, para las cargas individuales y modelos de copula para la distribución conjunta.

En la etapa 812 se calcula una rata de éxito histórico para cada carga utilizando activaciones previas. En esta realización, la rata de éxito puede ser definida por la forma como la carga se ha comportado con respecto a los términos 734 contractuales. Por ejemplo, los términos contractuales pueden incluir un tiempo de respuesta en segundos en los cuales la carga debe ser desconectada y un nivel de energía particular basado en un disparador de frecuencias. Una carga que reduce la energía dentro del tiempo de respuesta y que también reduce su consumo de energía de acuerdo con una desviación de frecuencia particular tendrá una rata de éxito superior y probablemente será colocada más arriba en el cúmulo de cargas, por ejemplo, el cúmulo 318. En contraste, una carga que no se desconecta con el tiempo de respuesta o que no reduce su energía en una cantidad de acuerdo con una desviación de frecuencia probablemente será colocada hacia el fondo de un cúmulo de cargas. Otra manera de definir la rata de éxito es que la rata de éxito de una carga es inversamente proporcional a los castigos que ha recibido históricamente durante una activación. Esta información sobre la rata de éxito será utilizada durante la etapa de maximización más adelante para ayudar a acumular cargas apropiadamente.

La etapa 816 predice la disponibilidad futura de cada carga. La disponibilidad de carga significa que la carga está operando y que hay energía de consumo disponible para ser activada, esto es, tiene su consumo de energía reducido incrementado. La disponibilidad futura incluye la disponibilidad planeada de cada carga, o de cada máquina en un sitio particular, y tiene en cuenta programaciones de reparaciones y mantenimiento futuros, así como tiempos conocidos cuando una máquina o carga no estará operando. Un tiempo de desconexión no planeado para una carga es tenido en cuenta entrenando un algoritmo de aprendizaje de la máquina para predecir el tiempo de desconexión con base en la historia de las variables de estado de carga locales.

Esta etapa predice una probabilidad de que una carga no esté disponible en el futuro, una probabilidad más alta indica que la carga estaría colocada más abajo en un cúmulo de cargas. Si una carga se hace de repente no disponible antes de que se presente una activación entonces puede ocurrir una reconfiguración en la etapa 715, mientras que si la carga se hace no disponible durante una activación se incurrirá entonces en una sanción.

En la etapa 820 se define una función F de optimización que producirá los parámetros de entrega óptimos cuando se maximiza. Un ejemplo de una función F de optimización se muestran a continuación en la fórmula 1.

$$F = \sum_i \Pr(P_i > \max_p \{f_i, p_i\}) - a \sum_i \Pr(T_i > T_T) - b \sum_i \Pr(\xi \max_p \{f_i, p_i\} > P_i) + c (\sum_i \max_p \{f_i, p_i\} - P_{oferta})$$

El conjunto $\{f_i, p_i\}$ es un conjunto ordenado de tuplas de frecuencia-energía. Este conjunto es utilizado por el algoritmo

local para determinar la cantidad de energía p_i requerida que requiere ser desconectada cada vez que la frecuencia cae por debajo de f_i . Este conjunto se denomina banda de activación.

5 El valor $\{f_i, p_i\}$ es la energía máxima que es mencionada en el conjunto ordenado de tuplas de frecuencia-energía. Por lo tanto, esta es la cantidad de energía flexible requerida que se requiere de la carga para entregar correctamente una respuesta de frecuencia, para cada posible valor de la frecuencia de red.

10 $\Pr(P_i > \max_p \{f_i, p_i\})$ indica la probabilidad de que la carga i , dada una banda de activación indicada por $\{f_i, p_i\}$, tiene un consumo P_i de energía disponible mayor que la cantidad requerida $\max_p \{f_i, p_i\}$. En general, cuando se ofrece energía flexible a una TSO, se recibe una remuneración, denominada la capacidad de pago, que es proporcional a la cantidad total de energía flexible ofrecida, P_{oferta} . Si la energía disponible, sin embargo, cae por debajo de esa cantidad, deben pagarse sanciones, denominadas sanciones de capacidad. El término bajo consideración maximiza la probabilidad de que la energía disponible, disponible para ser reducida o incrementada, es mayor que la energía requerida. Por lo tanto, maximiza el pago de capacidad y minimiza la sanción de capacidad.

$\Pr(\tau_i > \tau_T)$ indica la probabilidad de que el tiempo de respuesta τ_i sea mayor que el permitido por el contrato τ_T . Está es una versión estilizada de un término de sanción.

15 $\Pr(\xi \max_p \{f_i, p_i\} > P_i)$ indica la probabilidad de que la energía P_i disponible de carga i caiga por debajo de un cierto umbral, el cual es una fracción ξ de la energía flexible requerida $\max_p \{f_i, p_i\}$ para esa carga. Esta es una versión idealizada de la probabilidad de reconfiguración.

20 El algoritmo de configuración global asegura que la suma de toda la energía flexible requerida es mayor que o igual a la cantidad de energía requerida que es ofrecida al operador P_{oferta} del sistema de transmisión también denominada la capacidad. Esta es la razón para el término en la función de optimización. Las constantes "a", "b" y "c" son coeficientes positivos determinados a través de, por ejemplo, la validación cruzada de los datos históricos.

25 Así, la función F es una función objetivo que mapea un conjunto de tuplas frecuencia-energía $\{f_i, p_i\}$ para cada carga i hasta un número. Por lo tanto, el procedimiento numérico calcula el valor de F para un conjunto grande de valores diferentes $\{f_i, p_i\}$ para determinar sus valores óptimos, esto es los valores que maximizan F . El conjunto $\{f_i, p_i\}$ denota un conjunto de tuplas tales como $\{(49.85 \text{ Hz}, 10 \text{ MW}), (49.9 \text{ Hz}, 5 \text{ MW}), (50 \text{ Hz}, 0 \text{ MW})\}$ que parametrizan la función de respuesta de la carga i , por lo tanto el índice i . P_i es la energía flexible consumida por la carga i ; este es un número aleatorio extraído de la distribución histórica.

30 La maximización de esta función de optimización, entonces, determina los mejores valores de $\{f_i, p_i\}$ para cada carga, y da como resultado un apilamiento simbólico de las cargas tal como se muestra en la figura 3, así como valores para otros parámetros de entrega tales como parámetro de retardo, como se ve más adelante. Y, como se mencionó anteriormente, el resultado óptimo puede ser que en las bandas de frecuencia más probables más de una carga sea activada simultáneamente, actuando como una carga más idealizada con muy alta disponibilidad. Simbólicamente, entonces, las cargas de la figura 3 pueden superponerse. En una implementación, todos los valores de los parámetros de entrega son determinados maximizando la función F . En ese caso, otros parámetros están presentes de manera implícita en uno o más de los términos de la función de optimización. Como ejemplo, asúmase que el conjunto de parámetros de entrega contiene un parámetro de retardo que evita que la carga se conecte y desconecte demasiado rápidamente. Este parámetro de retardo tiene un impacto sobre el tiempo de respuesta de la carga y por lo tanto sobre el término de sanción $\sum_i \Pr(\tau_i > \tau_T)$ puesto que dos caídas de frecuencia muy rápidamente una después de la otra están unidas en una activación sencilla cuando el parámetro de retardo es suficientemente grande. Otras implementaciones determinan algunos de los parámetros de entrega llevando a cabo análisis estadístico de los datos históricos. En el caso del parámetro de retardo, tal análisis determina el valor del parámetro minimizando la probabilidad de que dos caídas de frecuencia con muy poca diferencia entre una y otra lleven a dos activaciones separadas.

45 El término de energía disponible usa el modelo estadístico de consumo conjunto desarrollado en la etapa 808 para ayudar a calcular la energía disponible. Los términos de sanción utilizan las tasas de éxito históricas de la etapa 812 para calcular las sanciones esperadas dada una cierta acumulación. Como se mencionó, puede aplicarse una sanción si la carga no responde lo suficientemente rápido, y puede aplicarse una sanción si la carga no desconecta suficiente energía durante una activación. Las sanciones pueden ser evitadas debido a una carga que no responda lo suficientemente rápido a una carga que no desconecte suficiente energía en respuesta a una desviación particular de la frecuencia colocando esa carga particular más abajo en el cúmulo. Si la frecuencia de la red no cae dentro de la sub-banda de frecuencia asignada a la carga problemática, se evitan entonces las sanciones. Por ejemplo, si un término de sanción determina que una configuración particular de carga solamente entrega, reduce, 8 MW a una frecuencia de 49.85 Hz, y que por contrato la cartera debería suministrar 10 MW a esa frecuencia, se aplicará entonces una sanción y este valor sanción será sustraído de la función F , reduciendo así las probabilidades de que esta configuración particular de cargas sea seleccionada.

En general, en el contexto de la respuesta en frecuencia a la demanda, un operador de la red recompensa al operador de la unidad 160 central en la cantidad de energía flexible hecha disponible, pero reduce esa recompensa si no se hace disponible suficiente energía flexible, por ejemplo, suministrando solamente una reducción de 8 MW cuando se prometen 10 MW como se demuestra en la figura 3, o si una activación no cumple con los términos del contrato, el tiempo de respuesta no es suficientemente rápido, la reducción de energía no sigue una desviación de frecuencia, etc. Mientras que una función de optimización puede tener solamente esta información en cuenta, la función de optimización puede tener en cuenta opcionalmente el riesgo operativo de llevar a cabo una reconfiguración y puede favorecer una optimización que lleve a cabo menos reconfiguraciones. Por ejemplo, la reconfiguración puede ser riesgosa porque los parámetros de entrega deben ser comunicados exitosamente desde la localización central a cada una de las cargas individuales. Adicionalmente, el objetivo de optimización puede tener opcionalmente en cuenta el deseo de menores sanciones impuestas por el operador de la red, aunque tal optimización pueda significar menos ingresos, por razones de negocio.

La probabilidad del término de la reconfiguración utiliza la disponibilidad futura de cada carga determinada en la etapa 816 y hace uso del modelo estadístico conjunto de la etapa 808 para determinar la probabilidad de si una reconfiguración es probablemente para el día siguiente. Por ejemplo, si la probabilidad es alta de que una carga estará fuera de línea al día siguiente entonces esta función tendrá un valor relativamente alto si esa carga está en el cúmulo, reduciendo así las posibilidades de que esta configuración particular de cargas sea seleccionada. Se seleccionará probablemente otra configuración de cargas en la cual la carga fuera de línea no está presente en el cúmulo. En otro ejemplo, si una carga particular tiene 5 MW de energía disponible en un día dado, y esa carga está en el cúmulo, pero el modelo estadístico indica que al día siguiente la carga tendrá solamente 2 MW de energía disponible, esto indica que puede ser necesaria una reconfiguración al día siguiente y este término tendrá un valor relativamente alto. Así, otra configuración de cargas probablemente dará como resultado un valor más alto para la función de optimización.

La etapa 824 maximiza la función de optimización con el fin de obtener los parámetros de entrega óptimos para cada carga, tales como la frecuencia, o frecuencias de activación para cada carga y un nivel de energía correspondiente para cada carga. La maximización puede llevarse a cabo utilizando diferentes técnicas tales como descenso por etapas, maximización simple, fusión simulada u otras técnicas de optimización numérica.

Tal como se mencionó, la etapa 716 de configuración en la unidad central da como resultado parámetros de entrega óptimos para cada carga los cuales son entregados en cada unidad 660-690 local. Otros parámetros de entrega para cada carga pueden incluir sí o no una reducción en energía en respuesta a una caída de frecuencia debe ser lineal, una función usada para determinar un nivel de energía con base en una frecuencia, una respuesta en tiempo máxima en la cual debería lograrse una reducción de energía, una unión de energía inferior que dispara una reconfiguración cuando el consumo de energía instantáneo de la carga cae por debajo del límite de energía inferior y un parámetro de retardo. En general, la respuesta de energía particular de la cartera, debido a un cambio característico de la red requerido por los términos del contrato se realiza mediante la acción conjunta de las unidades locales cuando implementan sus correspondientes parámetros de entrega.

Los parámetros son dependientes del tipo de carga para la cual están previstos. Por ejemplo, pueden ser cargas continuas, cargas discretas o las así llamadas cargas "digitales". Una carga continua puede operar, por ejemplo, desde 0 MW hasta 3 MW y puede ser ajustada para operar en cualquier lugar dentro de este rango. Una carga discreta puede operar solamente a 0 MW, a 1 MW, a 2 MW o a 3 MW, pero no a valores intermedios. Una carga "digital" puede estar conectada o desconectada; por ejemplo, puede operar solamente a 0 MW o a 3 MW. En una realización, en la cual el descenso de energía de las cargas debería seguir linealmente a medida que la frecuencia de la red disminuye, puede ser necesario estimar un descenso lineal en energía debido a los diversos tipos de carga. Más adelante se proveen diversos ejemplos de parámetros de entrega.

Los parámetros de entrega incluyen un mapa de frecuencia a energía para cada carga que dicta una relación entre la frecuencia de la red y una reducción designada de la energía. Corresponderá a cada carga individual determinar cómo entregar la energía designada. Las cargas pueden ser dirigidas para cortar una cierta cantidad de energía una a una a medida que la frecuencia cae, o puede superponer rangos de frecuencia tal que más de una carga pueda ser dirigida para entregar energía cuando la frecuencia cae hasta cierto punto. Cada unidad sabe en qué banda de frecuencia debe activarse, por ejemplo, reducir la energía, con base en su mapa particular de frecuencia a energía. Por ejemplo, cuando la frecuencia disminuya a 49.83 Hz una carga particular sabe que debe entregar 2 MW de energía. La carga usará entonces un algoritmo de entrega local para desconectar cualquier número de máquinas locales con el fin de entregar 2 MW. Puesto que la frecuencia se eleva por encima de 49.83 Hz entonces la carga puede incrementar su carga en 2 MW, sujeta a cualquier parámetro de retardo. En otro ejemplo, se considera una carga que consume 3 MW y la carga es capaz de entregar 1 MW o puede ser desconectada. La carga es asignada a la sub-banda de frecuencia de 49.87 Hz hasta 49.90 Hz. El mapa enviado a esta carga dicta que a 49.90 Hz se entregará 1 MW y a 49.88 Hz se desconectará así mismo.

La Tabla 1 ilustra conjuntos de parámetros de entrega de ejemplo con base en el ejemplo de la figura 3. El parámetro Alta Frecuencia indica en cual frecuencia una cierta carga comenzará a ser activada, parcial o

completamente, mientras que el parámetro Baja Frecuencia indica que la carga será activada completamente. El parámetro Continuo indica si la carga puede ser restringida de una manera continua o no. Si es así, entonces la carga entrega energía linealmente desde 0 MW a Alta Frecuencia hasta una cantidad de energía descrita en el Mapa de Energía a la Baja Frecuencia. Por ejemplo, la Carga 1 entregará 3 MW linealmente. Si no es continuo, entonces la carga restringirá su energía a las frecuencias descritas en el parámetro Mapa de Energía. Por ejemplo, la Carga 3 restringirá todos sus 3 MW prescritos cuando la frecuencia alcance 49.82 Hz.

Tabla 1. Parámetros de entrega

Carga	Alta Frecuencia	Baja Frecuencia	Continuo	Mapa de energía
Carga 1	49.90 Hz	49.87 Hz	Verdadero	3 MW
Carga 2	49.87 Hz	49.84 Hz	Falso	{{(49.87, 1), (49.865, 1.3), (49.84, 4)}}
Carga 3	49.82 Hz	49.82 Hz	Falso	{{(49,82, 3)}}

La figura 11 ilustra como la carga 2 restringirá su energía en respuesta a la disminución de la frecuencia de la red utilizando los parámetros de entrega mostrados en la Tabla 1. Tal como se muestra, la carga no comienza a reducir su energía hasta que la frecuencia cae a 49.87 Hz 850, punto en el cual la carga comienza a entregar 1 MW. Cuando la frecuencia alcanza 49.865 Hz 852 la carga comienza entonces a entregar un total de 1.3 MW. Esto continua hasta que la frecuencia cae a 49.84 Hz 854 punto en el cual la carga entrega todo de su energía disponible de 4 MW. La carga continua entregando 4 MW 856 a medida que la frecuencia cae incluso más. Como se muestra en este ejemplo, nótese que hay un retardo desde el momento en que la carga comienza a entregar una cantidad particular de energía hasta que ese nivel de energía es alcanzado.

La figura 12 ilustra el efecto de utilizar un parámetro de retardo. El parámetro de retardo indica un retardo asimétrico particular con el fin de estabilizar la programación. Como se muestra, cuando la frecuencia 862 de la red cae de 50 Hz hay un corto retardo antes de que la carga sea activada y el nivel 864 de energía de la carga caiga desde aproximadamente 10 MW a 0 MW. Sin embargo, cuando la frecuencia comienza a elevarse desde 49.8 Hz y la activación de la carga no se necesita más, se introduce un retardo 866 artificial de tal manera que el nivel de energía no comience a elevarse hasta después del retardo. El retardo puede ser asimétrico porque cuando la frecuencia comienza a elevarse, el retardo para empezar a incrementar el consumo de energía es mayor que el retardo para hacer disminuir el consumo de energía a medida que la frecuencia comienza a caer.

El parámetro de retardo es uno de los parámetros de entrega enviados desde la unidad central y puede tener un valor de cero, segundos o un cierto número de minutos. Debido a que la frecuencia de la red puede fluctuar a una frecuencia particular, causando potencialmente que una carga se desconecte y se conecte rápidamente, es deseable retardar el retorno de la carga. El encendido y apagado de una carga repetidamente puede llevar a un deterioro de su maquinaria y puede no ser posible en algunos casos alcanzar un tiempo de respuesta rápido, para desconectar una carga, si la carga acaba de ser justamente conectada. El retardo de la conmutación de una carga para encenderla de nuevo una vez que la frecuencia de la red se eleva por encima del punto disparador de la carga aborda estos asuntos. Adicionalmente, mientras que es crítico para una carga desconectarse inmediatamente a medida que la frecuencia de la red cae, puede no ser tan importante para el operador de la red que una carga sea reencendida rápidamente a medida que la frecuencia se eleva, y puede no haber una sanción para tal retardo. Una base de datos 720 histórica almacena la información de frecuencias para la red a lo largo del tiempo y tal información puede ser utilizada para determinar frecuencias en las cuales la fluctuación es común y en qué momentos. Un parámetro de retardo significativo puede ser introducido entonces para aquellas cargas que tienen una frecuencia de disparador a la cual ocurre la fluctuación.

Tal como se mencionó más arriba, la invención tiene aplicaciones más amplias que los parámetros de entrega de salida para cargas locales para enfrentar desviaciones de frecuencia. En general, la salida de la etapa 824 es un conjunto de parámetros de entrega como⁽ⁱ⁾, para cada carga j , $j = 1 \dots L$, donde $s = 1 \dots S$ número de parámetros, siendo usado el conjunto de parámetros de entrega para cada carga para mapear una señal medida localmente en cada carga hacia un punto fijado o puntos de energía fijados de energía en particular, o puntos conjuntos, para la carga. El efecto de la fijación de los parámetros de entrega sobre las cargas locales realiza el requerimiento de energía para la cartera.

Diagrama de flujo – Entrega local

La figura 3 es un diagrama de flujo que describe una realización en la cual una unidad local entrega puntos fijados de máquina para su carga. En una primera etapa 740, un ordenador de una unidad local en una carga particular

recupera información local que incluye características de la carga. Adicionalmente, en la etapa 744 la unidad local determina el estado actual, por ejemplo, detectando la frecuencia de corriente de la red de energía en la carga local utilizando el medidor 674 de frecuencia. También pueden determinarse otros estados locales tales como voltaje, presión, rendimiento, temperatura local, corriente eléctrica, etc. En general, la etapa 744 determina o mide cualquier señal local en la carga de energía local con el fin de determinar un estado de la carga. En la etapa 748 se recupera una historia corta del estado particular mediante la unidad local, por ejemplo, la frecuencia de la red de energía en la carga local durante las pasadas 24 horas.

En la etapa 752 esta información histórica puede ser limpiada por ejemplo abordando cualquier medición de errores. En la etapa 756 el estado de corriente efectiva de la red en la carga local es determinada utilizando el estado de corriente y la historia. Por ejemplo, si la frecuencia local es extremadamente volátil, la etapa 756 puede utilizar un promedio a lo largo del tiempo de las frecuencias instantáneas medidas a partir de la etapa 744 con el fin de estimular una frecuencia efectiva la cual será mejor para calcular un nivel de energía local.

Una vez que se ha determinado una frecuencia, el ordenador de la unidad local recupera los parámetros 760 de entrega locales que han sido enviados previamente a la unidad central. Estos parámetros incluyen el mapa de frecuencia a energía que dicta cómo la carga local debe reducir su energía cuando la carga local detecta ciertas frecuencias de la red. Se hace una comparación entre el estado determinado, la frecuencia de la red y el mapa de frecuencia a energía. Si el estado determinado cae dentro de un rango de frecuencias, o en una frecuencia, indicada por el mapa entonces en la etapa 762 se determina la activación de la carga. Si no, la unidad local determina entonces continuamente el estado y lo compara con los parámetros de entrega. Por ejemplo, la figura 3 muestra simbólicamente un mapa de frecuencia a energía en el cual la Carga 2 debe reducir linealmente su consumo de energía en un total de 4 MW a medida que la frecuencia de la red cae desde aproximadamente 49.87 MW hasta 49.83 MW.

En la etapa 764, la unidad local usa este mapa de frecuencia a energía para determinar cuál debería ser el nivel de energía local de la carga. Por ejemplo, la unidad local determina tanto un nivel R de energía de referencia como una cantidad de energía P activada con base en la frecuencia de la red pasada y actual. El nuevo nivel de energía local, esto es, un nivel de energía absoluto, que la carga debería alcanzar es entonces R-P, en la actualidad, la carga debería consumir una cantidad de energía que es tan grande como sea posible pero más pequeña que R-P. Por ejemplo, si la carga está consumiendo 10 MW y se activa a 2 MW, entonces el nuevo nivel de energía local es 8 MW.

Una vez que el nivel de energía local es determinado, en la etapa 768 se utiliza un algoritmo de entrega local para determinar los puntos de fijación de máquina reales para cada una de las máquinas que constituyen la carga local. El algoritmo de entrega local y los puntos de fijación de máquinas reales son dependientes del tipo de carga. Por ejemplo, una carga puede incluir diez diferentes motores cada uno de los cuales puede ser desconectado independientemente. O, una carga puede consistir de una máquina individual con un nivel de energía que es variable continuamente, o la maquina puede bien estar conectada o desconectada. La meta del algoritmo de entrega es controlar las máquinas de las cargas de tal manera que el nivel de energía de la carga coincida tan cercanamente como sea posible con el nivel de energía nuevo. Los puntos de fijación de las maquinas pueden incluir si una máquina está conectada o desconectada, un nivel de energía variable para una máquina, una temperatura para una máquina, una presión para un sistema, una corriente para una máquina, y el número de subcargas actualmente activadas.

Para una carga que consiste de una máquina individual cuya energía puede ser variada continuamente, será sencillo para el algoritmo de entrega local determinar los puntos de fijación de máquina, por ejemplo, "reducir energía en 1 MW para cada .01 Hz de caída en frecuencia". Incluso para cargas que consisten de máquinas múltiples cuya energía está conectada o desconectada, la entrega puede ser también relativamente sencilla, por ejemplo, "desconectar una maquina por cada caída de .01 Hz en frecuencia". Para una carga que tiene una maquina individual, o máquinas múltiples, cuya energía está conectada o desconectada se utilizan otras técnicas para determinar los puntos de fijación de maquina con el fin de alcanzar el nuevo nivel de energía. Considérese el ejemplo de una carga binaria en donde la frecuencia de la red cae a 49.89 Hz; por mandato, el nuevo nivel de energía sería 2 MW más que 3 MW. Debido a que un operador de red típicamente mide la energía utilizando promedios de cada 20 segundos, es posible conectar la máquina de 3 MW de su carga y desconectarla con el fin de alcanzar los resultados de un nivel de energía promedio de 2 MW a lo largo de esos 20 segundos. En este ejemplo, el algoritmo de entrega local de la carga determina los puntos de fijación de máquina de tal manera que la carga se conecte en 2/3 del tiempo y se desconecte a 1/3 del tiempo cada 20 segundos.

En otro ejemplo, asúmase que el consumo de energía de la carga puede ser controlado fijando la corriente eléctrica que fluya a través de la carga. Dado que el voltaje es V, y el ángulo de fase medido entre la corriente y el voltaje es phi, el punto de fijación de la corriente debería ser: $R-P/(V * \coseno(phi))$. En otro ejemplo, asúmase que una carga tiene n niveles de poder programables utilizando el protocolo Fieldbus utilizando una variable \$X que varía desde 1, el más bajo, hasta n, el más alto. Con el fin de determinar el mejor valor para la variable \$X, la unidad local repite a través de cada uno de los niveles de energía disponibles desde bajo hasta alto y verifica si el nivel de energía

resultante sería todavía más pequeño que R-P. Asumiendo que el nivel m es el primer nivel con un nivel de energía resultante que no es más pequeño, entonces el punto de fijación de la carga se determina como $X = m-1$.

Una vez que los nuevos puntos de fijación de maquina han sido determinados, la carga reduce entonces su energía de manera concordante entregando estos puntos de fijación a las máquinas utilizando el protocolo 678 Fieldbus, por ejemplo. El tiempo de respuesta desde la detección de un desplazamiento en la frecuencia hasta una reducción en la energía depende del equipo, algún equipo tiene un “retraso”, o necesita disminuir su consumo gradualmente de tal manera que no produzca riesgos, y la latencia de la comunicación y el tiempo de cálculo del software. Para el equipo, el rango va de 0s, ciertos motores eléctricos, hasta un día, en procesos complejos con una cantidad importante de partes conectadas, para la comunicación y software la respuesta es del orden de 10 ms. Típicamente, el tiempo total de respuesta es del orden de segundos.

También se provee retroalimentación para asegurar que la energía alcanzada a través de los puntos de fijación coincide tan cercanamente como sea posible con el nivel de energía local calculado. Si no, se ejecuta entonces de nuevo el bucle 756-768. Por ejemplo, el uso de un punto de fijación de corriente para ajustar la energía no necesariamente es una relación lineal, necesitando así el uso de retroalimentación. Adicionalmente, una vez que ha sido reducida la energía, es posible que la frecuencia de la red de energía cambie, presumiblemente la frecuencia se incrementará si suficientes cargas en la cartera reducen exitosamente su consumo de energía. De acuerdo con lo anterior, la unidad local continúa determinando el estado de la red y calcula un nuevo nivel de energía local según sea necesario. Pueden recibirse nuevos parámetros 760 de entrega desde la unidad central en cualquier momento.

En una realización particular, el estado de la red y el nivel de energía local son determinados en la unidad local en tiempo real aproximadamente cada segundo. El algoritmo de entrega determina y entrega entonces los puntos de fijación de máquina inmediatamente y continúa haciendo esto, durante la activación, cada segundo.

Diagrama de flujo – reconfiguración

La figura 14 es un diagrama de flujo que describe un proceso de reconfiguración de la invención. Una vez que la configuración ha ocurrido centralmente, y los parámetros de entrega han sido enviados a cada carga, es ventajoso monitorizar frecuentemente el estatus de las cargas para determinar si es necesaria una reconfiguración. Más que reconfigurar las cargas frecuentemente, lo cual es un recurso intensivo y potencialmente riesgoso, la monitorización se hace con frecuencia, utilizando datos mínimos y puede suceder rápidamente, y la reconfiguración se lleva a cabo solamente cuando sea necesario. En una realización, la monitorización ocurre cada 10 segundos. En otra realización, solamente los cambios de datos son comunicados al sistema central a través de una suscripción mediante el sistema central a la monitorización local.

Tal como se muestra, las etapas 704-720 son llevadas a cabo en una localización central y dan como resultado un conjunto particularizado de parámetros de entrega para cada carga local los cuales son distribuidos a las unidades 670-690 locales, por ejemplo. Una unidad 670 local en una carga local incluye un ordenador que acepta entradas de un medidor de frecuencia y un medidor de energía, analiza su conjunto de parámetros de entrega recibido desde la unidad central, determina los puntos de fijación de máquina, y ordena que la carga local reduzca la energía, utilizando el protocolo Fieldbus, por ejemplo.

La retroalimentación 704 recibida en la unidad central desde cada carga la cual monitoriza continuamente cada estado interno de la carga en la etapa 709. Por ejemplo, el consumo de energía instantáneo y la información del estado de cada carga local son monitorizados. La monitorización no local en la etapa 713 puede incluir cualquiera de los datos no locales mencionados más arriba, pero típicamente incluye solo la frecuencia de la red.

En la etapa 715 la unidad central determina si la reconfiguración debería ocurrir, esto es, si un cambio local o no local en el estatus dicta que las cargas de la cartera deberían ser reconfiguradas de tal manera que las cargas se activen a una diferente sub-banda de frecuencia o con diferentes niveles de energía. Esta etapa también tiene en cuenta los parámetros de entrega de corriente para cada carga. La ventaja de monitorizar en esta etapa es que solamente se requieren datos mínimos para determinar si debería ocurrir una reconfiguración completa. Por ejemplo, la etapa 715 compara el nivel de energía local original para cada carga, determinado en la etapa 764, con el consumo de energía instantáneo para cada carga; si la carga está utilizando menos energía, por ejemplo, menos de aproximadamente 90% de su nivel de energía durante la configuración previa, ocurre entonces una reconfiguración. Cuando una carga consume más energía, no se dispara la reconfiguración puesto que esto indica un incremento en la disponibilidad.

En otros ejemplos, si se detecta que la carga de alguna manera se hace no disponible, por ejemplo, un ordenador falla en la unidad 670, o un mal funcionamiento de la maquinaria, o una decisión tomada por el propietario de la carga, o no está disponible, entonces puede indicarse también una reconfiguración. Aunque la monitorización está sucediendo con frecuencia puede no ser deseable reconfigurar la cartera frecuentemente con el fin de reforzar la estabilidad del sistema. En una realización, un parámetro usado en la etapa 715 limita una reconfiguración a una al

día en promedio.

Si es así, entonces en la etapa 716 se lleva a cabo una nueva configuración de las cargas en la unidad central. Por ejemplo, la figura 6 muestra un cambio local que da como resultado un nuevo orden para las cargas. Una base 720 histórica también puede ser utilizada para informar este reordenamiento e incluye: información sobre la probabilidad de frecuencia tal como se muestra en las figura 4, 5 y 7; e información de ordenamiento de cargas histórica. Una vez que las cargas han sido reconfiguradas, y cada carga ha recibido la asignación de un nuevo mapa de frecuencia a energía, se envía entonces un nuevo conjunto de parámetros de entrega a través de la red 170 de comunicación a cada una de las unidades locales.

Como se muestra, las unidades 670-690 locales se muestran simbólicamente ordenadas desde arriba hacia abajo en capacidad decreciente para la activación. En otras palabras, una carga particular que tiene más energía disponible, mayor estabilidad de energía y un tiempo de respuesta más rápido, probablemente será ordenada más arriba que una carga que tiene menos energía disponible, menos estabilidad de energía, o un tiempo de respuesta más lento, o una combinación de las tres. Además, se asignan más unidades capaces a un subdominio de frecuencia cuando hay una más alta probabilidad de una desviación en la frecuencia, permitiendo así una respuesta más rápida a un desplazamiento de frecuencia probable.

Aplicabilidad a un incremento de frecuencia de red u otro parámetro de red

Tal como se mencionó, la presente invención es aplicable no solamente a un descenso en la frecuencia de la red, que requiere una reducción en el consumo de energía de la cartera, sino también a un incremento en la frecuencia en la red, que requiere que la cartera consuma más energía. Por ejemplo, mientras que la figura 3 muestra un cúmulo de cargas en respuesta a una caída en frecuencia a una banda de frecuencia por debajo de 50 Hz, las cargas pueden ser acumuladas para responder a un incremento de frecuencia por encima de 50 Hz. En este escenario, las cargas más capaces, con mayor disponibilidad de energía, más estables, con tiempos de respuesta más rápidos, etc., son colocadas en las frecuencias más bajas o alrededor de áreas de alta probabilidad de frecuencia. Y, mientras que la figura 7 muestra un apilamiento de cargas 522-526 a la izquierda del punto 502, las cargas pueden ser acumuladas a la derecha del punto 502 para abordar la situación cuando la frecuencia de red se eleva más alto de lo normal. Adicionalmente, los términos 734 contractuales pueden requerir que una cartera de cargas se active mediante una banda de frecuencia de, 50.10 Hz hasta 50.20 Hz, por ejemplo, en Europa, y que la cartera consume un extra de 10 MW en total, por ejemplo, si la frecuencia alcanza 50.20 Hz. Si bien la figura 11 ha sido discutida en el contexto de una carga activada que entrega energía a medida que la frecuencia de la red cae, una persona experimentada en la técnica entenderá que una carga activada puede consumir también un programa de energía a medida que la frecuencia se eleva. También, aunque la figura 12 discute un parámetro de retardo que introduce un retardo después de que la frecuencia comienza a elevarse, tal parámetro de retardo también puede ser utilizado a medida que la frecuencia cae. En general, una persona experimentada en el arte, al leer esta divulgación, será capaz de implementar la presente invención para gestionar una cartera de cargas de tal manera que cuando la frecuencia de la red se eleva por encima del valor normal, que la cartera consume más energía.

Otro ejemplo de un parámetro de red al cual la invención también se aplica es el voltaje. En efecto, pueden presentarse caídas/picos de voltaje a un nivel local o global en la red, y es evidente que la misma metodología utiliza una cartera de recursos de energía flexible para aliviar de manera óptima la red en segundos. También puede utilizarse una señal recibida en una carga diferente a una señal medida. Por ejemplo, un proveedor de energía también está interesado en la flexibilidad de energía con tiempos de respuesta rápidos, por ejemplo, para mantener su cartera en balance. Cuando se utiliza en tales condiciones, la activación a nivel de la carga local se dispara, por ejemplo, mediante una señal externa enviada por el proveedor de energía más que por la medición de la frecuencia de la red.

Aplicabilidad a una red de gas natural

Tal como se mencionó, una realización de la presente invención también es aplicable a una red de gas natural, y sus respectivas cargas, que entregan energía a través de gas natural. En esta realización, el estado de la red es presión de gas y esta presión de gas es detectada en cada carga local. Si la presión de gas cayera, una carga local detecta esta caída y reduce su consumo de gas natural utilizando el conjunto de parámetros de entrega locales enviado por la unidad central. En este caso, los parámetros de entrega proveen un mapa de presión a energía, dictando cuanto menos gas natural, energía, debe utilizar la carga en respuesta a una reducción en la presión. La invención también puede ser utilizada si la presión del gas en la red se eleva. En general, una carga de gas es adecuada para uso dentro de la presente invención en tanto la carga esté conectada a la red de gas, y si tiene un sistema de control local unido a la misma, o puede ser conectado a un sistema de control local.

Realización del sistema de ordenador

Las figuras 15A y 15B ilustran un sistema 900 de ordenador adecuado para implementar las realizaciones de la

presente invención. La figura 15A muestra una forma física posible para el sistema de ordenador. Desde luego, el sistema de ordenador puede tener muchas formas físicas incluyendo un circuito integrado, una tarjeta de circuito impreso, un dispositivo manual pequeño, tal como un teléfono móvil o PDA, un ordenador personal o un superordenador. El sistema 900 de ordenador incluye un monitor 902, una pantalla 904, una carcasa 906, un disco 908, un teclado 910 y un ratón 912. El disco 914 es un medio legible por ordenador para transferir datos hacia y desde el sistema 900 de ordenador.

La figura 15B es un ejemplo de un diagrama de bloques para un sistema 900 de ordenador. Unidos a un sistema de bus 920 hay una amplia variedad de subsistemas. Procesadores 922, también denominados como unidades de procesamiento central, o CPUs, están acoplados a dispositivos de almacenamiento incluyendo la memoria 924. La memoria 924 incluye memoria de acceso aleatorio, RAM, y memoria para solo lectura, ROM. Como es bien conocido en el arte, la ROM actúa para transferir datos e instrucciones unidireccionalmente desde la CPU y la RAM se usa típicamente para transferir datos e instrucciones de manera bidireccional. Ambos de estos tipos de memorias pueden incluir cualquier medio legible por el ordenador descrito más adelante. Un disco 926 fijo también está acoplado bidireccionalmente a la CPU 922; provee capacidad de almacenamiento de datos adicionales y también puede incluir cualquiera de los medios legibles por ordenador descritos más abajo. El disco 926 fijo puede ser utilizado para almacenar programas, datos y similares y típicamente es un medio de almacenamiento secundario, tal como un disco duro, que es más lento que el almacenamiento primario. Será evidente que la información retenida dentro del disco 926 fijo, puede, en casos apropiados, ser incorporada de manera normal como memoria virtual en la memoria 924. El disco 914 removible puede tener la forma de cualquiera de los medios legibles por ordenador descritos más abajo.

La CPU 922 también está acoplada con una variedad de dispositivos de entrada/salida tal como la pantalla 904, teclado 910, ratón 912 y altavoces 930. En general, un dispositivo de entrada/salida puede ser cualquiera de: pantalla de vídeo, bolas de desplazamiento, ratones, teclados, micrófonos, pantallas táctiles, lectores transductores de cartas, lectores de cinta magnética o de papel, tabletas, estilos, reconocedores de voz o de escritura, lectores biométricos, u otros ordenadores. La CPU 922 opcionalmente puede estar acoplada con otra red de ordenadores o de telecomunicaciones utilizando la interfaz 940 de red. Con tal interfaz de red, se contempla que la CPU podría recibir información desde la red, o podría generar información hacia la red en el transcurso de la ejecución de las etapas del método descrito más arriba. Adicionalmente, las realizaciones del método de la presente invención pueden ejecutarse solamente sobre la CPU 922 o pueden ejecutarse sobre una red tal como la internet en conjunción con una CPU remota que comparte una porción del procesamiento.

Además, las realizaciones de la presente invención se relacionan adicionalmente con productos para almacenamiento en ordenadores con un medio legible por ordenador que tiene código de ordenador en el mismo para llevar a cabo diversas operaciones implementadas por ordenador. Los medios y el código de ordenador pueden ser aquellos especialmente diseñados y contruidos para los propósitos de la presente invención, o pueden ser de la clase bien conocida y disponibles para los que tienen experiencia en las artes del software de ordenadores. Ejemplos de medios legibles por ordenadores, pero que no se limitan a son: medios magnéticos tales como discos duros, discos flexibles y cintas magnéticas; medios ópticos tales como CD-ROMs y dispositivos holográficos; medios magnetoópticos tales como discos flópticos; y dispositivos de hardware que están especialmente configurados para almacenar y ejecutar códigos de programa, tales como circuitos integrados específicos para una aplicación, ASICs, dispositivos lógicos programables, PLD, y dispositivos ROM y RAM. Ejemplos de código de ordenador incluyen códigos de máquina, tales como los producidos por un compilador, y archivos que contienen códigos a nivel más alto que son ejecutados por un ordenador que utiliza un intérprete.

Aunque la invención anterior ha sido descrita en algún detalle para propósitos de claridad de entendimiento, será evidente que pueden practicarse ciertos cambios y modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones anexas. Por lo tanto, las realizaciones descritas deberían ser tomadas como ilustrativas y no restrictivas, y la invención no debería de ser limitada a los detalles dados aquí si no que debería ser definida por las siguientes reivindicaciones y su alcance completo de equivalentes.

Reivindicaciones

1. Un método para cambiar el consumo de energía de una cartera de cargas de energía (180, 182, 184, 186; 522-526) conectado a una red (112) de distribución de energía que tiene cada una un consumo de energía, comprendiendo dicho método:
 - 5 recibir, en una unidad (160) central, una función (504) de respuesta a la cartera que indica una respuesta de energía deseada de dicha cartera de cargas (180, 182, 184, 186; 522-526) de energía a una señal capaz de ser medida sobre dicha red (112) de distribución en cada una de dichas cargas (180, 182, 184, 186; 522-526) de energía;
 - 10 recibir una función de optimización que tiene un término que indica para cada carga (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía una probabilidad de que cada una de dicha carga (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía tendrá una cantidad de energía disponible a valores de señal particulares;
 - maximizar dicha función de optimización para producir para cada una de dicha carga (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía una función de respuesta local que indica una cantidad de cambio de energía en respuesta a variaciones en dicha señal; y
 - 15 enviar dichas funciones de respuesta local a sus respectivas cargas (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía desde dicha unidad (160) central, por lo que dicha función (504) de respuesta a cartera se realiza mediante la operación combinada de dichas funciones de respuesta local.
 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende además:
 - después de dicho envío detectar en cada una de dichas cargas (180, 182, 184, 186; 522-526) de energía que dicha señal ha variado a partir de un valor normal en cada una de dicha carga (180, 182, 184, 186; 522-526) de energía; y
 - 20 en respuesta a dicha detección, cada carga (180, 182, 184, 186; 522-526) de energía que cambia independientemente su consumo de energía por dicha cantidad de cambio de energía dictada por dicha función de respuesta local de cada una de dichas cargas (180, 182, 184, 186; 522 - 526) de energía.
 3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, que comprende además:
 - 25 ordenar dichas cargas (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía disminuyendo la disponibilidad de energía de cada una de dichas cargas (180, 182, 184, 186, 522-526).
 4. El método de acuerdo con la reivindicación 3, en donde dicha disponibilidad de energía es la probabilidad de que cada carga (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía podrá cambiar su consumo de energía en el futuro por cada una de dicha cantidad de cambio de energía sin violar una condición de contorno de cada una de dichas cargas (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía.
 5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde dicha función de optimización tiene además un término negativo que indica para cada carga (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía una probabilidad de que un tiempo de respuesta para cambiar dicho consumo de energía de cada una de dichas cargas (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía es mayor que el tiempo de respuesta requerido de un operador de red.
 6. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde dicha función de optimización tiene además un término negativo que indica para cada carga (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía una probabilidad de que dicha cada carga (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía tendrá una cantidad de energía disponible menor que un porcentaje de dicha cantidad de cambio de energía.
 7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde dicha red (112) de distribución de energía es una red eléctrica, en donde dichas cargas (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía son cargas eléctricas, y en donde dicha señal es una frecuencia de dicha red eléctrica.
 8. El método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde dicha frecuencia es menor que una frecuencia de funcionamiento normal de dicha red (112) eléctrica, comprendiendo además dicho método:
 - 45 ordenar dichas cargas (180, 182, 184, 186, 522-526) eléctricas disminuyendo la probabilidad de que dicha cada carga (180, 182, 184, 186, 522-526) eléctrica podrá reducir su consumo de energía en el futuro por dicha cada cantidad de cambio de energía, cargas con una probabilidad más alta que tienen una función de respuesta local que responde a valores más altos de dicha frecuencia.

9. El método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde dicha frecuencia es mayor que una frecuencia de funcionamiento normal de dicha red (112) eléctrica, comprendiendo además dicho método:

5 ordenar dichas cargas (180, 182, 184, 186, 522-526) eléctricas disminuyendo la probabilidad de que dicha cada carga (180, 182, 184, 186, 522-526) eléctrica podrá reducir su consumo de energía en el futuro por dicha cada cantidad de cambio de energía, cargas con una probabilidad más alta que tienen una función de respuesta local que responde a valores más bajos de dicha frecuencia.

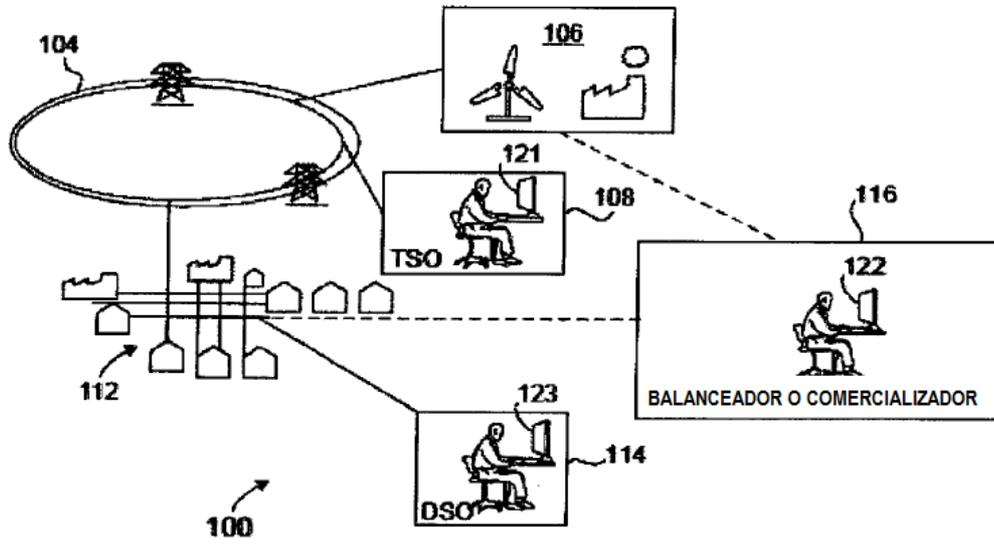
10. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en donde un operador de red de dicha red (112) de energía requiere que dicho consumo de energía de dicha cartera de cargas (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía cambie por dicha cantidad de energía deseada cuando dicha señal varíe a lo largo de un rango de señal.

10 11. Un sistema para cambiar el consumo de energía de una cartera de cargas (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía conectada a una red (112) de distribución de energía que tiene cada uno un consumo de energía, comprendiendo dicho sistema:

15 una unidad (160) de cómputo central dispuesta para recibir una función (504) de respuesta a la cartera que indica una respuesta de energía deseada de dicha cartera de cargas (180, 182, 184, 186, 522 a 526) de energía a una señal que puede medirse en dicha red 112) de distribución en cada una de dichas cargas (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía, estando dicha unidad (160) de cómputo central dispuesta además para recibir una función de optimización que tiene un término que indica para cada carga (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía una probabilidad de que dicha cada carga (180, 182, 184, 186, 522-526) de energía tendrá una cantidad de energía disponible a valores de señal particulares;

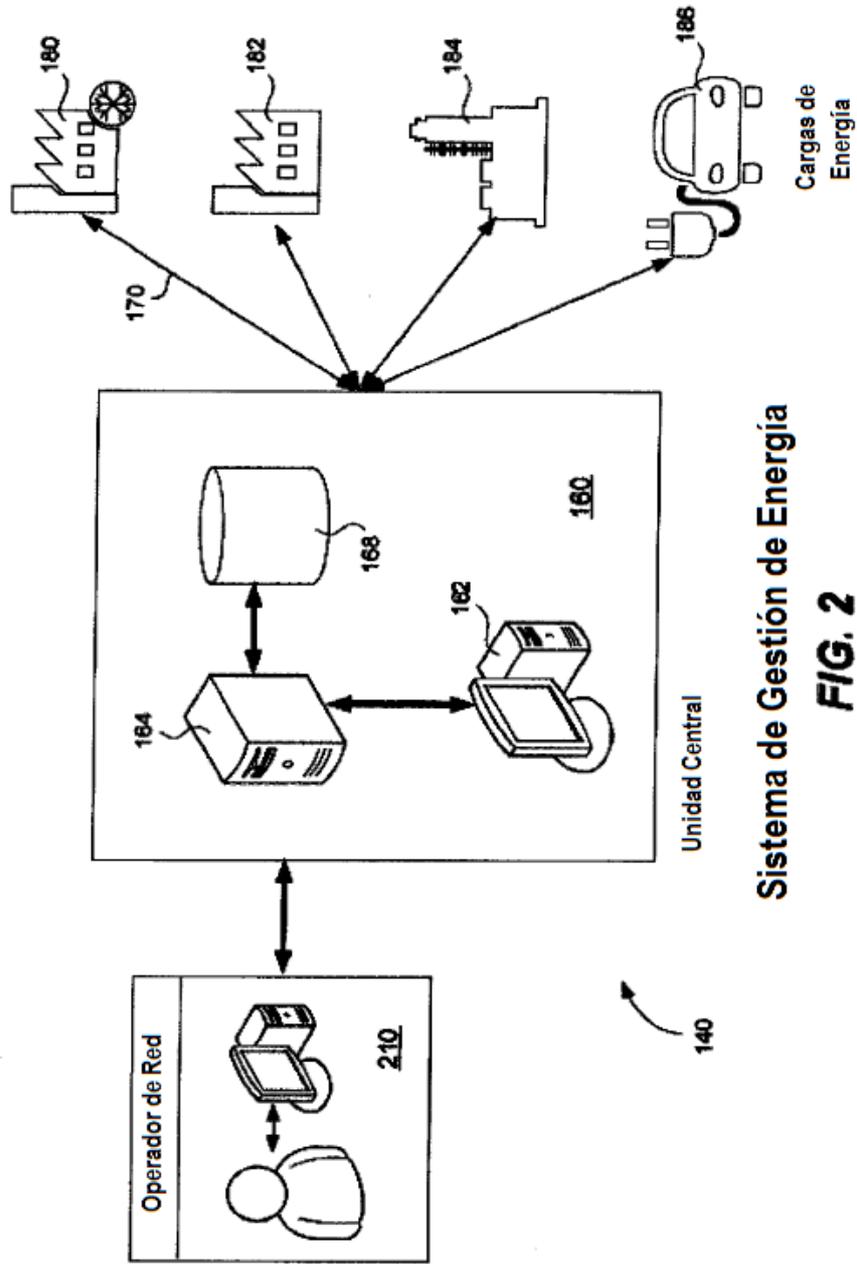
20 una unidad (622) de cómputo de algoritmo acoplada a dicha unidad (160) de cómputo central dispuesta para maximizar dicha función de optimización para producir para dicha cada carga (180, 182, 184, 186, 522 a 526) de energía una función de respuesta local que indica una cantidad de cambio de energía en respuesta a variaciones en dicha señal; y

25 una unidad (624) de cómputo de envío acoplada a dicha unidad (160) de cómputo central y dispuesta para enviar dichas funciones de respuesta local a sus respectivas cargas (180, 182, 184, 186, 522 a 526) de energía desde dicha unidad (160) de cómputo central, por lo que dicha función (504) de respuesta a la cartera se realiza mediante la operación combinada de dichas funciones de respuesta local.



Sistema de Distribución de Energía

FIG. 1



Sistema de Gestión de Energía
FIG. 2

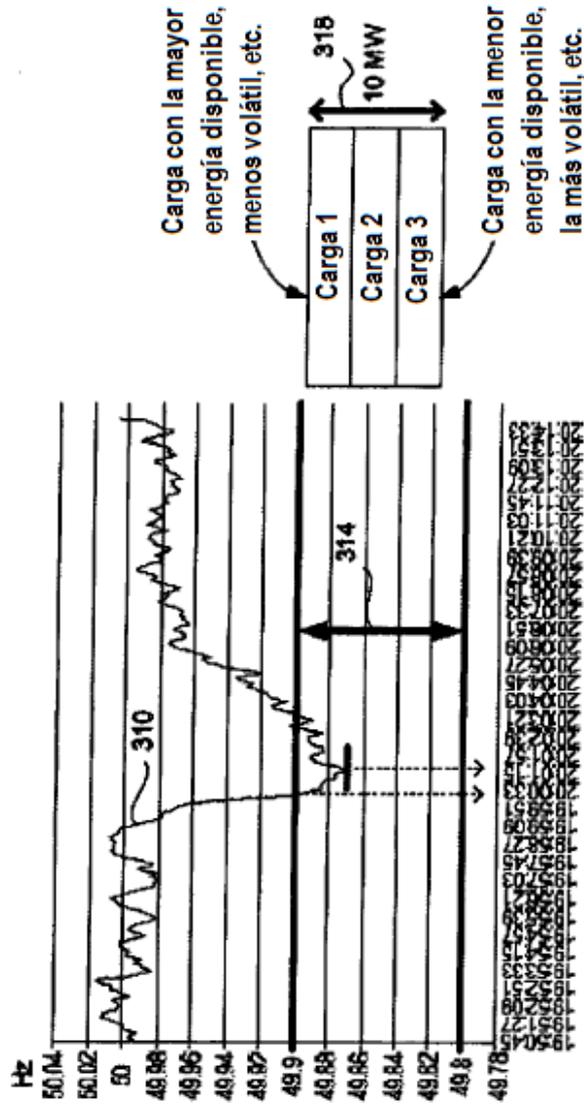


FIG. 3

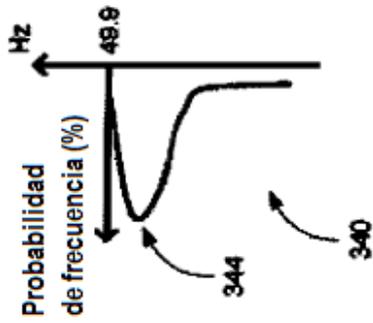


FIG. 4

300

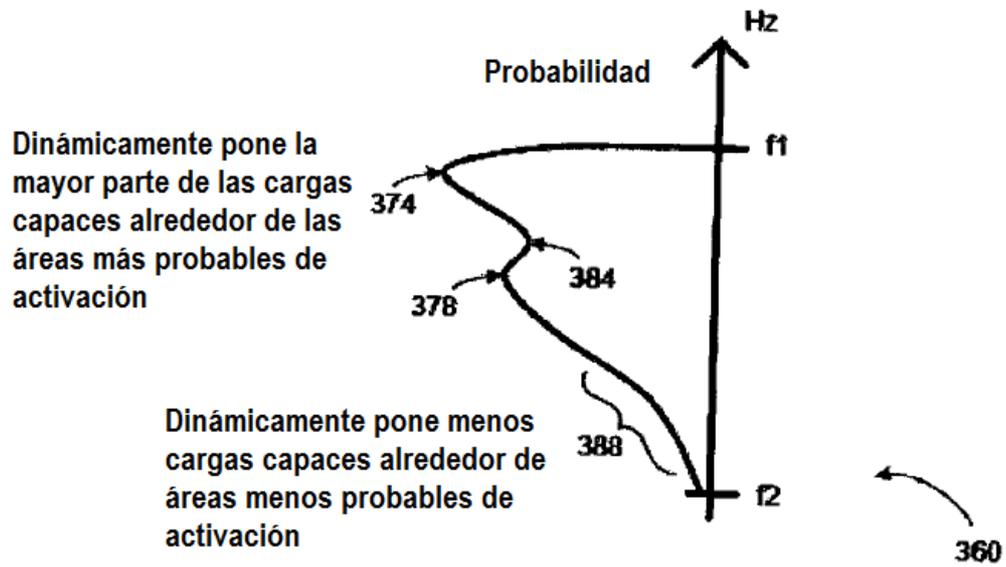


FIG. 5

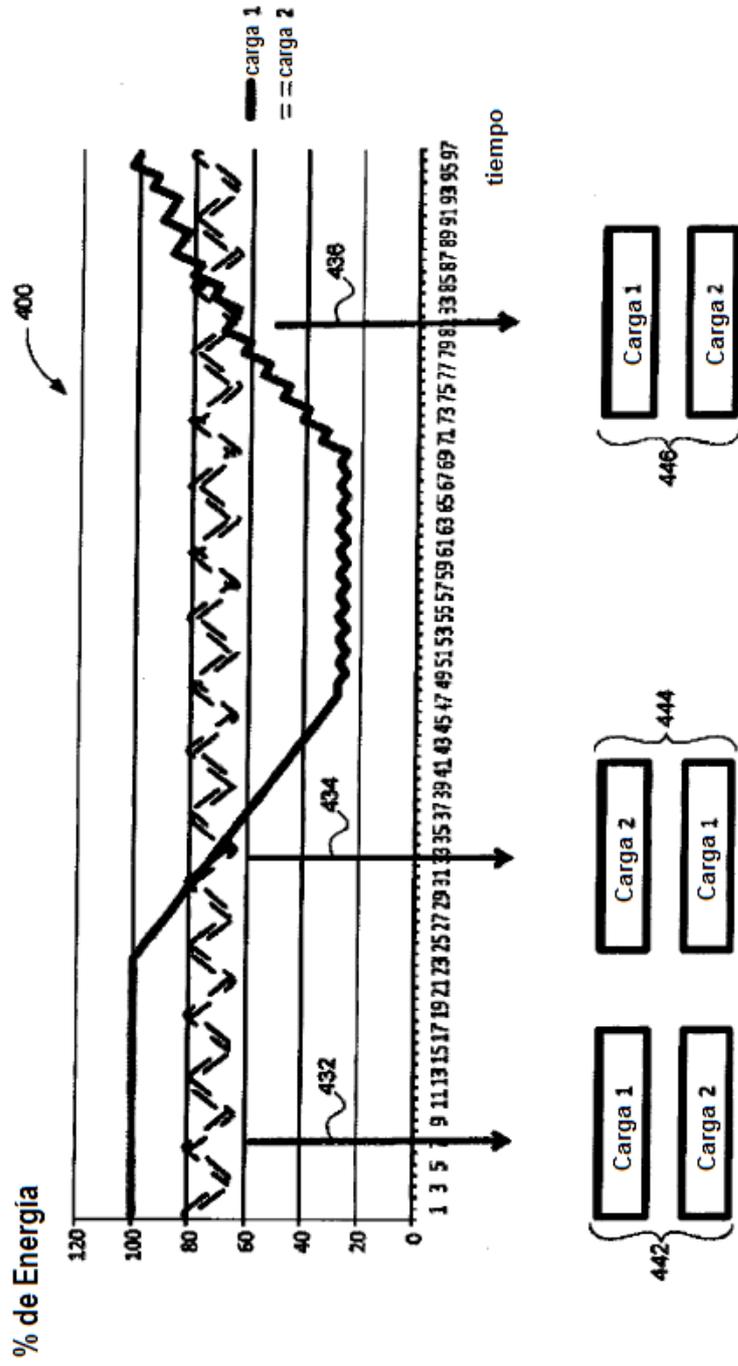


FIG. 6

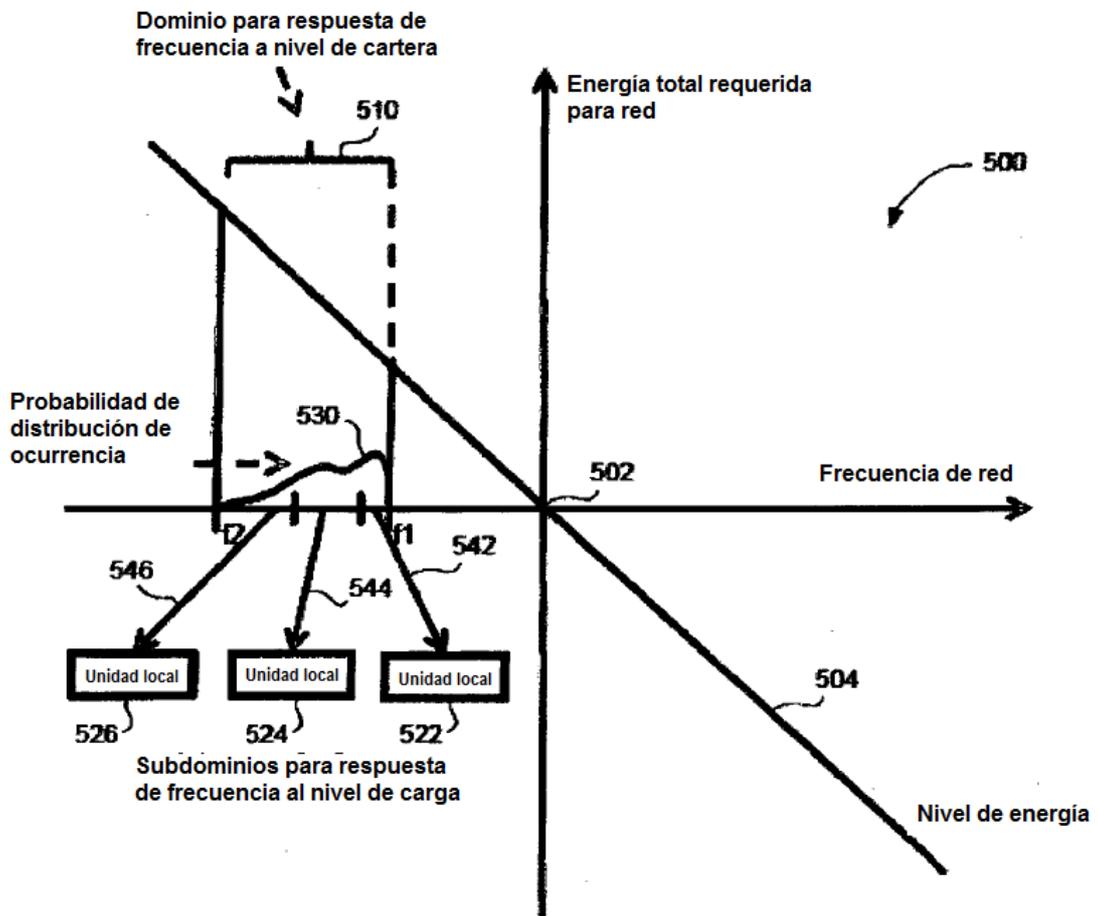


FIG. 7

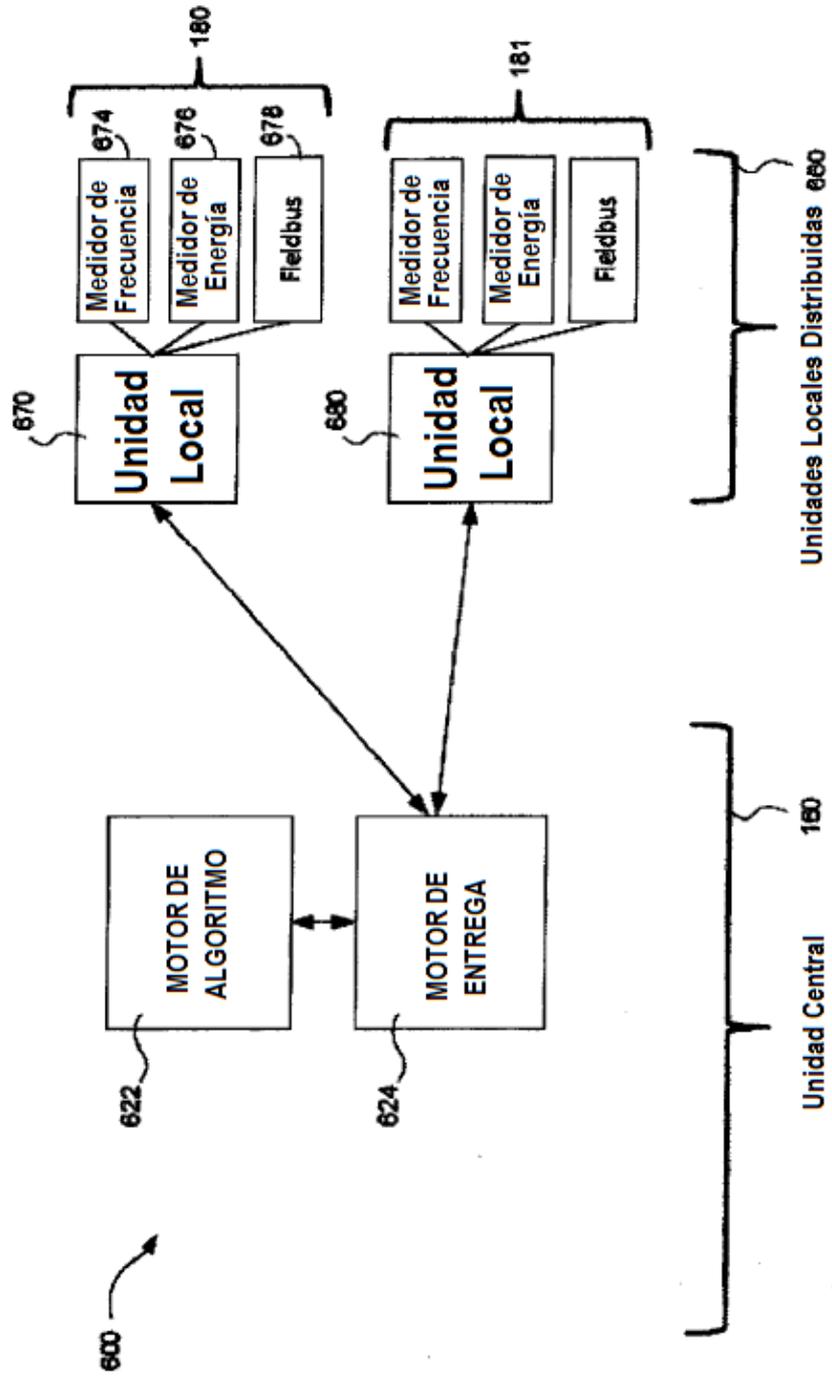
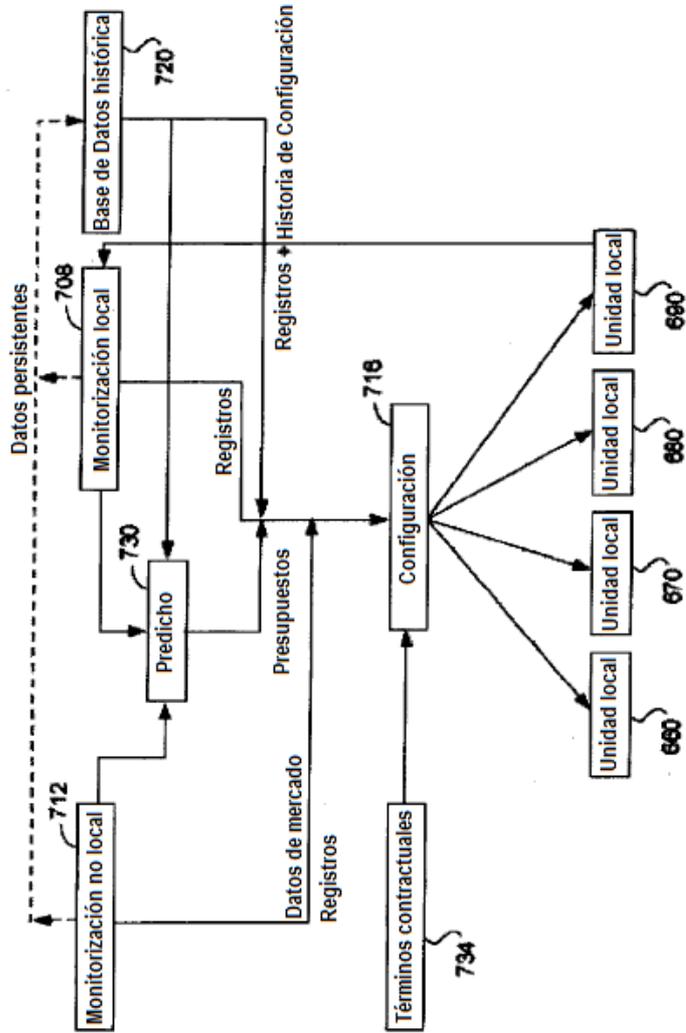
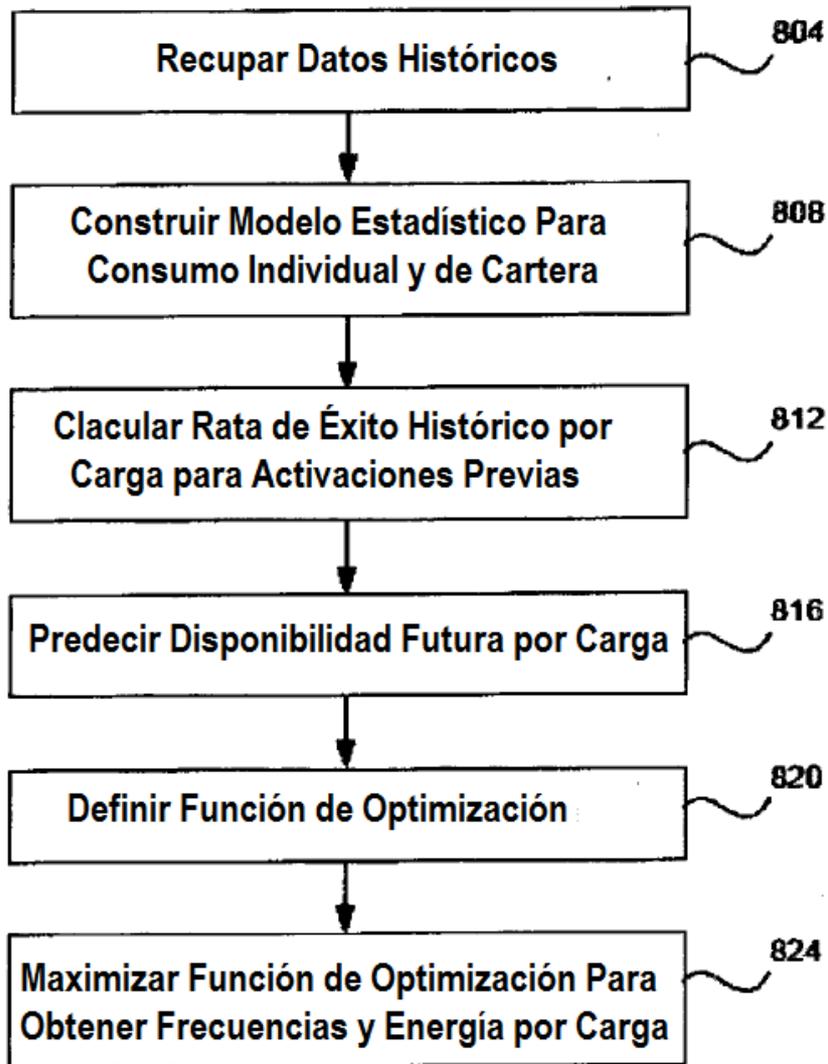


FIG. 8



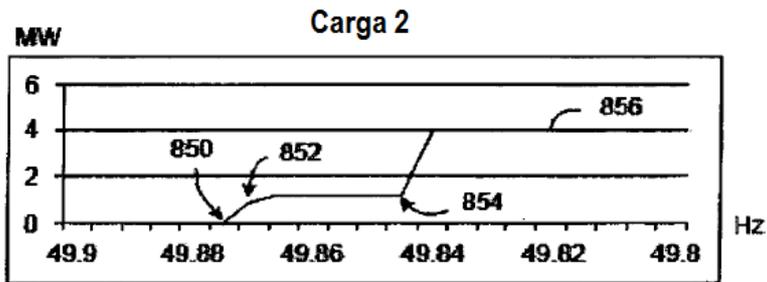
Configuración Central de Cargas

FIG. 9



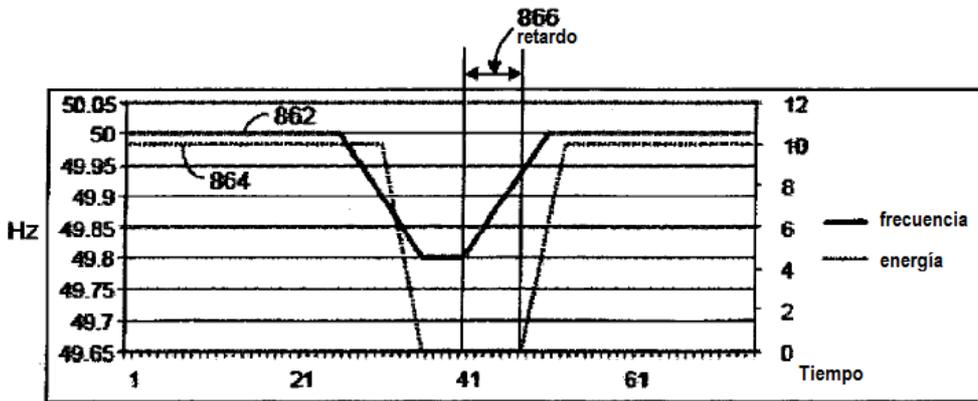
Etapa de Configuración

FIG. 10



Activación de Carga

FIG. 11



Parámetro de Retardo

FIG. 12

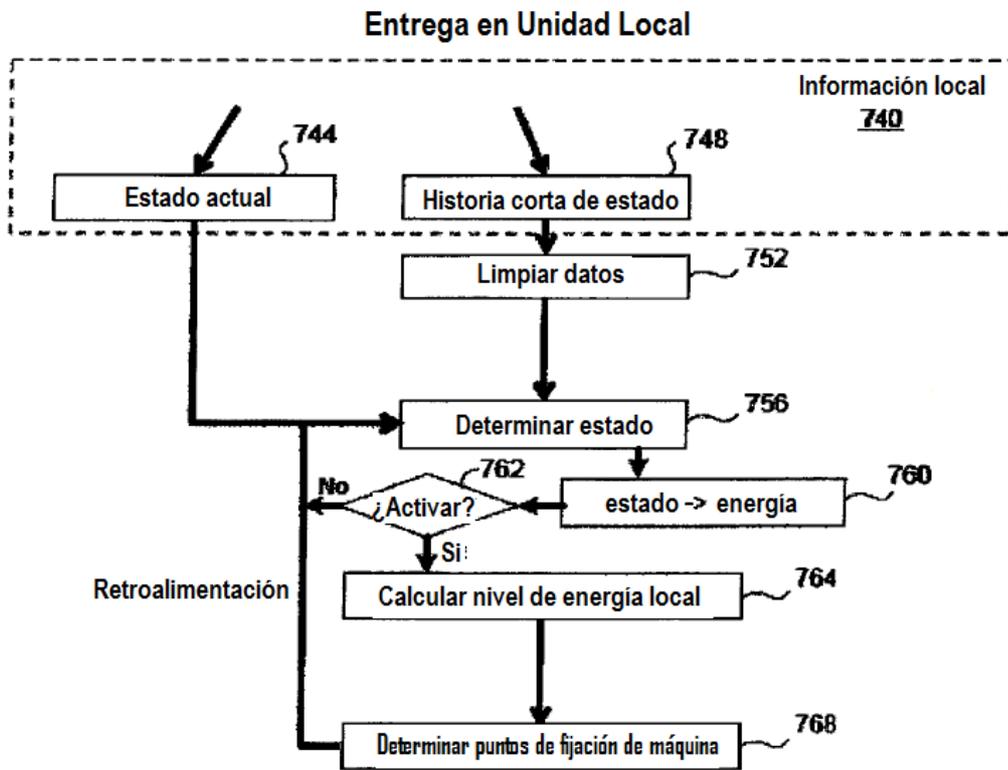
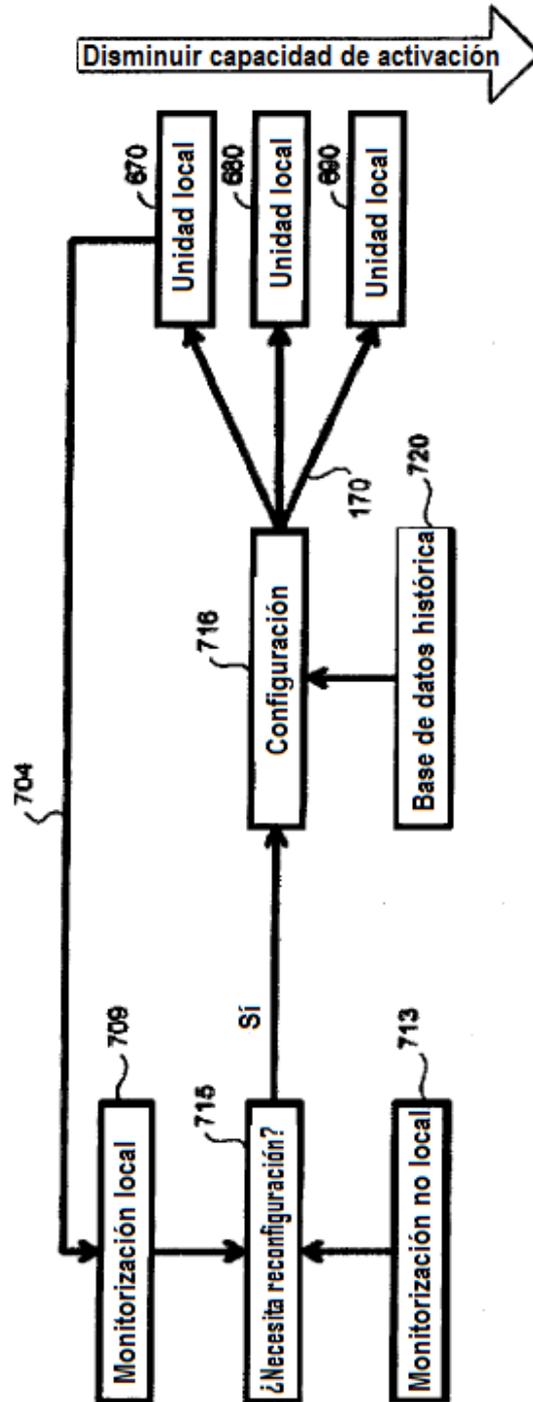


FIG. 13



Reconfiguración Central de Cargas

FIG. 14

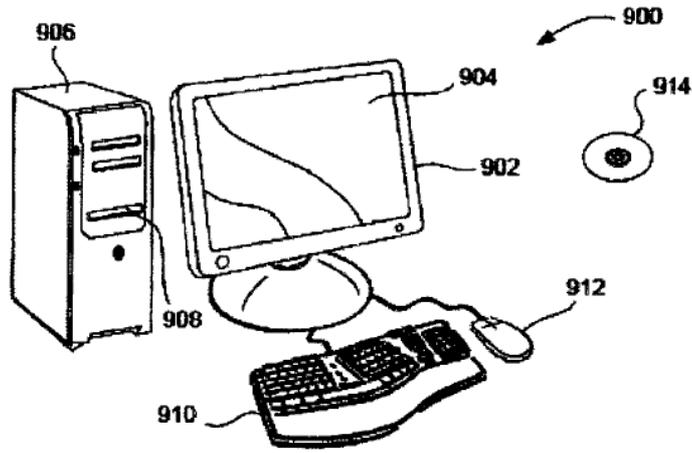


FIG. 15A

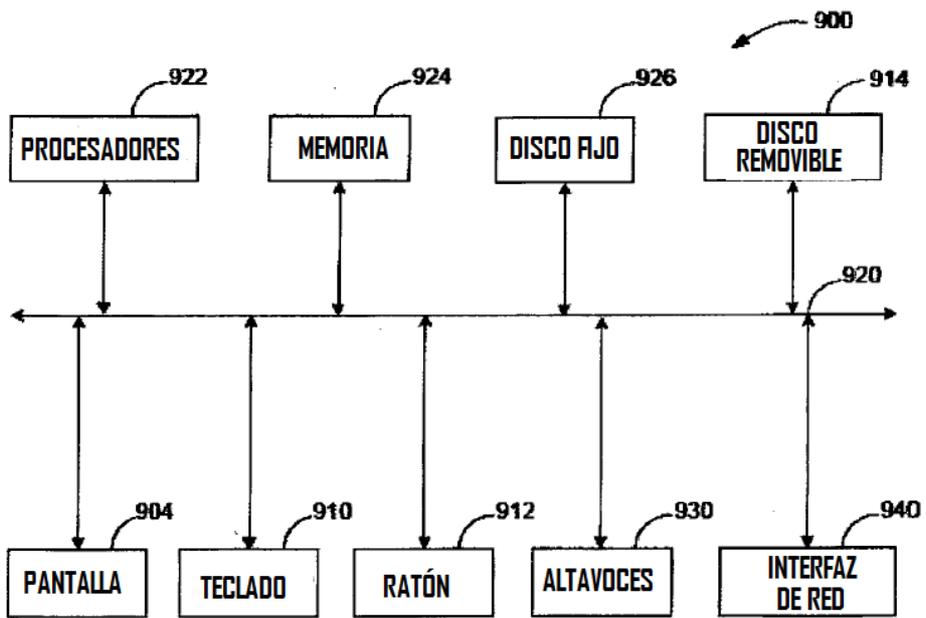


FIG. 15B