



ESPAÑA

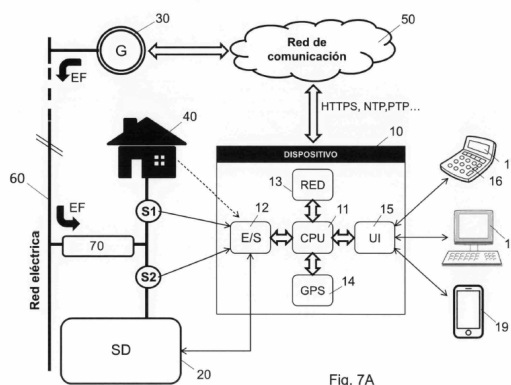


G05F 1/66	(2006.01)
H02J 3/38	(2006.01)
H04L 29/08	(2006.01)
G06O 50/06	(2012.01)

A1

**LOPEZ GARCIA, Diego Antonio y
PEREZ TORREGLOSA, Juan**

Método y dispositivo de intercambio sincronizado de energía entre usuarios de la red eléctrica para la gestión descentralizada. El método comprende obtener fragmentos de energía (1) a intercambiar en intervalos de tiempo entre un primer usuario (40; 42) con otro usuario (30; 32) a través de la red eléctrica (60); acordar una cantidad de energía (EF) a intercambiar en cada intervalo de tiempo; intercambiar la cantidad de energía (EF) acordada para dicho intervalo de tiempo; medir la cantidad real de energía consumida o producida por el primer usuario (40; 42); determinar la diferencia entre la energía real consumida o generada por el primer usuario (40; 42) y la cantidad de energía (EF) intercambiada; y almacenar o suministrar dicha diferencia de energía. La obtención de los fragmentos de energía (1) para los distintos intervalos de tiempo se realiza de manera secuencial.



DESCRIPCIÓN

Método y dispositivo de intercambio sincronizado de energía entre usuarios de la red eléctrica para la gestión descentralizada.

5

Sector de la técnica

La presente invención se engloba dentro del campo del transporte de energía eléctrica y redes de distribución, y más en particular en el campo de la generación distribuida y las redes eléctricas inteligentes.

10

Antecedentes de la invención

Se ha definido el concepto de red eléctrica inteligente ("smartgrid", en inglés) como la evolución de la red eléctrica actual al incorporar las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Uno de sus objetivos es mejorar la capacidad de sus usuarios para intercambiar energía a través de la red [1]. Hasta ahora la red ha seguido un esquema jerárquico: generación, transporte, distribución y consumo. Dado que no se conoce a priori la demanda, los suministradores ajustan la generación en función de la tensión y frecuencia detectada. Esto funciona debido a la diferencia de escala entre la potencia generada y las perturbaciones sobre la demanda [14]. Sin embargo, la generación distribuida, en continuo auge por el ahorro de costes en el transporte y el aprovechamiento de fuentes renovables [2], no suele aportar caudales tan altos de energía. La expansión de la generación distribuida causa degradación en la calidad del suministro, en la fiabilidad y en el control de la red [3]. Para contener con esta problemática se han aportado diferentes soluciones. Unas se han centrado en mantener la estabilidad de la red. Otras en cambio se han enfocado en cómo equilibrar producción y demanda.

15

20

25

30

Con respecto al primer aspecto, hay diferentes técnicas propuestas: las basadas en el uso de sistemas o dispositivos de almacenamiento (SD) [15], las de control distribuido [5] y otras [4].

35

Para el equilibrado de producción y demanda hay diferentes ideas [6]. Por ejemplo, una de ellas consiste en modelar a los usuarios como entidades que pujan siguiendo una función de precio. Luego, una red jerárquica de CPUs calcula el punto de equilibrio, fijando así oferta y demanda. El precio se convierte en la señal de control [7]. No obstante, todo el proceso comienza con la lectura de la demanda presente. Por tanto, el retraso de comunicación y computación genera siempre un cierto desajuste. Además, este método puede provocar picos extremos de consumo [8].

40

Otras soluciones combinan el precio de la energía con otras señales. Este es el caso del "aprendizaje reforzado" [9] donde una matriz de decisión implementa una función multiobjetivo que considera además los picos de potencia y los límites de operación. De nuevo, existe siempre un error debido al retraso en las comunicaciones.

45

Otras soluciones aprovechan cierto nivel de predicción. Este es el caso de la coordinación basada en principios de auto-organización (homeotaxis [10]), la cual compara valores predictivos con los actuales para modificar el comportamiento. Los algoritmos evolutivos [11], [12], [13] también se basan en las predicciones de consumo. Pero todos ellos reducen el error por desequilibrio entre producción y consumo de una manera insuficiente.

50

El método y el dispositivo de la presente invención sincroniza al máximo producción y demanda, resolviendo de esta forma dos problemas simultáneamente: la distribución de la energía (asignación generador-consumidor) y el control de la red (reducir al mínimo las perturbaciones por desequilibrios entre la producción y la demanda).

Referencias bibliográficas

- [1]. Hassan Farhangi. The path of smart grid. IEEE Power & Energy magazine. January-February 2010. PP. 18-28.
- [2]. El-Khattam, W., Salama, M.M.A. 2004 "Distributed generation technologies, definitions and benefits" Electric Power Systems Research. 71, pp. 119-128. Ed. Elsevier.
- [3]. Barker, P. P., & De Mello, R. W. (2000). Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems. In Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE (Vol. 3, pp. 1645-1656). IEEE.
- [4]. Strasser, T., Andren, F., Kathan, J., Cecati, C., Buccella, C., Siano, P.,... & Marík, V. (2015). A review of architectures and concepts for intelligence in future electric energy systems. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 62(4), 2424-2438.
- [5]. Huang, A. Q., Crow, M. L., Heydt, G. T., Zheng, J. P., & Dale, S. J. (2011). The future renewable electric energy delivery and management (FREEDM) system: the energy internet. Proceedings of the IEEE, 99(1), 133-148.
- [6]. Badawy, R., Hirsch, B., & Albayrak, S. (2010). Agent-based coordination techniques for matching supply and demand in energy networks. Integrated Computer-Aided Engineering, 17(4), 373-382.
- [7]. Kok, K. (2013). The PowerMatcher: Smart coordination for the smart electricity grid. TNO, The Netherlands, 241-250.
- [8]. Zeman, A., Prokopenko, M., Guo, Y., & Li, R. (2008, October). Adaptive control of distributed energy management: A comparative study. In 2008 Second IEEE International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (pp. 84- 93). IEEE.
- [9]. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (1998). Reinforcement learning: An introduction (Vol. 1, No. 1). Cambridge. MIT press.
- [10]. Prokopenko, M., Zeman, A., & Li, R. (2008, July). Homeotaxis: Coordination with persistent time-loops. In International Conference on Simulation of Adaptive Behavior (pp. 403-414). Springer Berlín Heidelberg.
- [11]. Li, J., Poulton, G., & James, G. (2007, December). Agent-based distributed energy management. In Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence(pp. 569-578). Springer Berlín Heidelberg.
- [12]. Li, J., Poulton, G., James, G., & Guo, Y. (2009). Múltiple energy resource agent coordination based on electricity price. J. Distrib. Energy Resour, 5(2), 103-120.
- [13]. Guo, Y., Li, J., & James, G. (2005, December). Evolutionary optimization of distributed energy resources. In Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence (pp. 1086-1091). Springer Berlín Heidelberg. J. F. Fuller, E. F. Fuchs, and K. J. Roesler, "Influence of harmonios on power distribution system protection," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 3, pp. 549-557, Apr. 1988.
- [14]. Sloomweg, J. G., & Kling, W. L. (2002, July). Impacts of distributed generation on power system transient stability. In Power Engineering Society Summer Meeting, 2002 IEEE (Vol. 2, pp. 862-867). IEEE.

[15]. Wang, P., Liang, D. H., Yi, J., Lyons, P. F., Davison, P. J., & Taylor, P. C. (2014). Integrating electrical energy storage into coordinated voltage control schemes for distribution networks. IEEE Transactions on Smart Grid, 5(2), 1018-1032.

5 Descripción de la invención

El problema de equilibrar la producción y la demanda en la red eléctrica actualmente se solventa con el control de los grandes generadores (altas inercias), la previsión de demanda horaria, y las pequeñas fluctuaciones que se producen con respecto a ésta. En estas condiciones no es posible progresar hacia una red donde haya cada vez más generación distribuida (pequeños generadores), y más libertad de elección por parte de los consumidores. Por añadidura el papel del operador de la red resulta esencial, con la complejidad que supone el control centralizado.

El método propuesto en la presente invención permite resolver el problema con independencia de la naturaleza o magnitud del productor, no necesita la supervisión del operador, mejora la estabilidad de la red, realiza un control descentralizado lo cual facilita la escalabilidad y flexibiliza el mercado de cara al consumidor. Por añadidura este sistema es totalmente compatible con el existente, pudiendo además servir de transición a otros métodos de transferencia futuros.

Un primer aspecto de la presente invención se refiere a un método de intercambio sincronizado de energía entre usuarios de la red eléctrica para la gestión descentralizada. El método comprende las siguientes etapas:

- Obtener fragmentos de energía a intercambiar en intervalos de tiempo entre un primer usuario con al menos otro usuario a través de la red eléctrica. La obtención de los fragmentos de energía para los distintos intervalos de tiempo se realiza de manera secuencial, normalmente de uno en uno o en paquetes o conjuntos de varios a la vez.
- Acordar una cantidad de energía a intercambiar entre el primer usuario con al menos otro usuario en cada intervalo de tiempo, donde dicha cantidad de energía coincide con la energía asociada al fragmento de energía del intervalo correspondiente.
- Intercambiar, entre el primer usuario con al menos otro usuario y en cada intervalo de tiempo, la cantidad de energía acordada para dicho intervalo de tiempo.
- Medir, en cada intervalo de tiempo, la cantidad real de energía consumida o producida por el primer usuario.
- Determinar la diferencia entre la energía real consumida o generada por el primer usuario y la cantidad de energía intercambiada en cada intervalo de tiempo.
- Almacenar o suministrar dicha diferencia de energía.

En una realización preferida, el almacenamiento o suministro de la diferencia de energía se realiza mediante un dispositivo de almacenamiento de energía. El método puede comprender medir el nivel de carga del dispositivo de almacenamiento de energía, de forma que la obtención de cada fragmento de energía se realiza al menos en función de dicho nivel de carga. La obtención de cada fragmento de energía se puede realizar en función de un objetivo de nivel de carga en el dispositivo de almacenamiento de energía. En una realización, la obtención de cada fragmento de energía para un intervalo de tiempo determinado comprende calcular una potencia objetivo al final de dicho intervalo de tiempo, donde la potencia objetivo

depende del nivel de carga objetivo y de una predicción de la potencia a consumir o generar por el primer usuario considerando el consumo o generación de al menos un intervalo inmediatamente anterior.

5 La obtención de cada fragmento de energía se realiza preferentemente en función de unos márgenes de seguridad para mantener el nivel de carga del dispositivo de almacenamiento de energía dentro de un nivel de operación establecido. En la obtención de cada fragmento de energía se puede considerar modificar los intervalos de tiempo de los diferentes fragmentos de energía para mantener el nivel de carga del dispositivo de almacenamiento de energía dentro
10 del nivel de operación establecido.

La obtención de cada fragmento de energía para un intervalo de tiempo determinado se realiza preferentemente en el intervalo de tiempo inmediatamente anterior. En una realización, los fragmentos de energía en cada intervalo de tiempo se definen mediante una línea recta entre
15 una potencia final, en el instante final del intervalo, y una potencia inicial, en el instante inicial del intervalo.

El método puede también comprender realizar una sincronización periódica entre el primer usuario y al menos otro usuario. El primer usuario puede ser un consumidor de energía, un
20 productor de energía o ambos (consumidor y productor de energía).

El intercambio de energía realizado en cada intervalo de tiempo se puede realizar mediante seguimiento continuo de la potencia instantánea del fragmento de energía, siguiendo la curva o recta de potencia que marca el fragmento de energía.
25

Un segundo aspecto de la presente invención se refiere a un dispositivo de intercambio sincronizado de energía entre usuarios de la red eléctrica para la gestión descentralizada. El dispositivo comprende una unidad de control configurada para:

30 – Obtener fragmentos de energía a intercambiar en intervalos de tiempo entre un primer usuario con al menos otro usuario a través de la red eléctrica. La obtención de los fragmentos de energía para los distintos intervalos de tiempo se realiza de manera secuencial, de uno en uno o de varios en varios (esto es, no todos los fragmentos de energía a la vez).
35

– Acordar una cantidad de energía a intercambiar entre el primer usuario con al menos otro usuario en cada intervalo de tiempo, donde dicha cantidad de energía coincide con la energía asociada al fragmento de energía del intervalo correspondiente.

40 – Obtener, en cada intervalo de tiempo, la cantidad real de energía consumida o producida por el primer usuario.

– Determinar la diferencia entre la energía real consumida o generada por el primer usuario y la cantidad de energía intercambiada en cada intervalo de tiempo.
45

– Gestionar el almacenamiento o suministro de dicha diferencia de energía.

Para la gestión del almacenamiento o suministro de la diferencia de energía, la unidad de control puede estar configurada para enviar señales de control a un dispositivo de
50 almacenamiento de energía y recibir señales de estado del mismo. En lugar de un dispositivo de almacenamiento de energía se pueden utilizar dos elementos separados: uno para admitir los excesos de energía (por ejemplo, verter el sobrante en calentar el sistema de agua caliente

sanitaria), y otro un elemento generador para cubrir las carencias de energía (paneles fotovoltaicos, turbinas, etc.).

5 La unidad de control está preferentemente configurada para medir el nivel de carga del dispositivo de almacenamiento de energía, y obtener cada fragmento de energía al menos en función de dicho nivel de carga. La unidad de control puede estar configurada para obtener cada fragmento de energía en función de un objetivo de nivel de carga en el dispositivo de almacenamiento de energía. Para la obtención de cada fragmento de energía para un intervalo de tiempo determinado, la unidad de control está preferentemente configurada para calcular
10 una potencia objetivo al final de dicho intervalo de tiempo, donde la potencia objetivo depende del nivel de carga objetivo y de una predicción de la potencia a consumir o generar por el primer usuario considerando el consumo o generación de al menos un intervalo inmediatamente anterior.

15 En una realización, la unidad de control está configurada para realizar la obtención de cada fragmento de energía en función de unos márgenes de seguridad para mantener el nivel de carga del dispositivo de almacenamiento de energía dentro de un nivel de operación establecido. El dispositivo puede comprender una interfaz de entrada/salida para la conexión con un sensor de medida de la cantidad real de energía almacenada o suministrada por el
20 dispositivo de almacenamiento de energía.

En una realización, el dispositivo de intercambio de energía también comprende el propio dispositivo de almacenamiento de energía. En este caso, el dispositivo de almacenamiento de energía puede comprender al menos un elemento de almacenamiento de energía y un
25 convertidor AC/DC controlado por la unidad de control para regular la carga de al menos un elemento de almacenamiento de energía. El dispositivo de almacenamiento de energía se puede implementar mediante una batería de supercondensadores.

El dispositivo de intercambio de energía puede comprender un convertidor AC/DC bidireccional controlado por la unidad de control para regular la carga del dispositivo de almacenamiento de energía. El dispositivo puede comprender una interfaz de entrada/salida para la conexión con un sensor de medida de la cantidad real de energía consumida o producida por el primer usuario. El dispositivo puede comprender un sensor de medida de la cantidad real de energía almacenada o suministrada por el dispositivo de almacenamiento de energía. El dispositivo
30 puede comprender un sensor de medida de la cantidad real de energía consumida o producida por el primer usuario.

El dispositivo puede comprender un módulo de sincronización configurado para realizar una sincronización periódica entre el primer usuario y al menos otro usuario. El dispositivo puede comprender una interfaz de red configurada para comunicarse con al menos otro usuario. El dispositivo puede comprender una interfaz de usuario para la interacción con el usuario.
40

Breve descripción de los dibujos

45 Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos de carácter ilustrativo y no limitativo.

Figura 1: Ejemplo de un fragmento de energía representado con una línea a trazos.
50

Figura 2: Seguimiento de la demanda (línea continua) utilizando fragmentos de energía (línea a trazos).

Figura 3: Detalle de la diferencia entre potencia demandada y un fragmento de energía.

Figura 4: Evolución de la energía almacenada en el dispositivo de almacenamiento de energía (línea superior) debida a las diferencias entre la potencia suministrada (EF, línea a trazos) y la potencia demandada (Pd o línea continua inferior).

5 Figura 5: Ejemplo de evolución de la energía almacenada en el dispositivo de almacenamiento de energía.

Figura 6: Esquema de un algoritmo de control del dispositivo de intercambio de energía.

10 Figuras 7 A y 7B: Esquemas del dispositivo de intercambio de energía.

Figura 8: Esquema de una realización de un sistema de intercambio de energía de acuerdo a la presente invención.

15 Realización preferente de la invención

La presente invención propone dividir la energía suministrada en fragmentos de energía delimitados por pequeños intervalos de tiempo (normalmente unos pocos segundos o minutos), con el objetivo de aproximar la secuencia de dichos fragmentos con la demanda real del usuario. La **Figura 1** muestra un ejemplo de un fragmento de energía 1 representado con una línea a trazos definida entre una potencia final p_2 en un instante final t_2 (punto P_2), y una potencia inicial p_1 en un instante inicial t_1 (punto P_1). La unidad de tiempo empleada podría ser minutos, como en el ejemplo de la Figura 1, u otro diferente (e.g. segundos). La cantidad de energía (EF) asociada al fragmento de energía 1 viene determinada por el área inferior delimitada por la línea discontinua.

En la **Figura 1** el fragmento de energía 1 es un segmento que conecta linealmente los puntos P_1 y P_2 . Sin embargo, en lugar de rectas, los fragmentos de energía 1 pueden seguir diferentes tipos de curvas, como por ejemplo, y sin carácter limitativo:

- a) Senoidal, polinomial, escalonada, trapezoidal, poligonal o una combinación lineal de cualquiera de las anteriores.
- b) $F(t)=a$, es decir, es una función constante en el intervalo.
- c) $F(t)=a \cdot t+b$, es decir, se trata de un segmento recto, tal y como aparece en la descripción general.
- d) $F(t)=a+b \cdot \cos(\pi t/T)$ donde t es el tiempo, T es el intervalo que delimita los fragmentos de energía 1, y los parámetros a y b se escogen de acuerdo a las necesidades de energía previstas. Este tipo de función suaviza las transiciones entre fragmentos de energía 1.
- e) La función es senoidal, polinomial o combinación de cualquiera de las anteriores, con la característica de imponer la misma pendiente en la transición entre intervalos. Por ejemplo: sean $F_1=\alpha+\beta \cdot \sin(\omega t+\varphi)$ y $F_2=a+bx+cx^2+dx^3$ dos fragmentos consecutivos tales que $d(F_1(t_2))/dt=d(F_2(t_1))/dt$, es decir, las derivadas coinciden en el punto de transición.

La **Figura 2** ilustra el seguimiento de la demanda o potencia demandada 2 (línea continua) utilizando fragmentos de energía 1 (líneas a trazos). Estos fragmentos de energía 1 son adquiridos por el consumidor al productor con antelación a su suministro. Las redes de comunicación vigentes (internet, telefonía, PLC o portadoras sobre la línea de potencia, GSM, etc.) sirven para que dicha compra se formalice en cuestión de milisegundos. Cuando llega el momento pactado, tanto el productor como el consumidor intercambian con la red exactamente la cantidad de energía adquirida (los fragmentos de energía 1). Para ello, los clientes deben

disponer de un dispositivo o un sistema de almacenamiento que corrija la diferencia entre la energía realmente demandada y la energía prevista en la transacción (fragmentos de energía 1), además de estar altamente sincronizado con el productor.

La **Figura 3** muestra un detalle de la diferencia entre potencia demandada 2 y un fragmento de energía 1 en un segmento de tiempo t_1 - t_2 . La línea P_1 - P_2 define el fragmento de energía 1, esto es, la energía negociada con el productor y adquirida entre los instantes t_1 y t_2 . La línea $P_d(t)$ es la potencia demandada 2, la potencia realmente consumida por un usuario (por ejemplo, la debida a los electrodomésticos de un hogar). El área encerrada entre ambas es:

- La energía sobrante (e_s), es decir, la energía que ha de almacenar el dispositivo de almacenamiento, para el caso de que la potencia instantánea del fragmento de energía 1 sea mayor a la potencia demandada 2; o
- la energía deficitaria (e_p), es decir, energía a proveer por parte de dicho dispositivo de almacenamiento, para el caso de que la potencia instantánea del fragmento de energía 1 sea menor que la potencia demandada 2.

Teniendo en cuenta los hábitos de consumo, la demanda actual, las demandas máximas y mínimas que pudieran producirse en un futuro inmediato y el estado de carga del dispositivo de almacenamiento, se calcula el siguiente fragmento de energía 1 y se adquiere al productor, repitiéndose el proceso.

En la **Figura 4** se muestra un ejemplo de la evolución de la energía 3 almacenada en el dispositivo de almacenamiento (línea continua de la gráfica superior) debido a las diferencias entre la potencia suministrada (fragmentos de energía 1, línea a trazos de la gráfica inferior) y la potencia demandada 2 (P_d , línea continua de la gráfica inferior). En este ejemplo se representa un proceso en el que se contemplan situaciones extremas, en el sentido de máximo error posible entre el fragmento de energía 1 (EF) suministrado y la potencia demandada 2 (P_d). Si se fija el intervalo de tiempo de los fragmentos de energía 1 y se escoge un dispositivo de almacenamiento de capacidad suficiente, se pueden establecer unos márgenes de seguridad (e_b) tales que el algoritmo de control pueda garantizar la operación dentro de la capacidad máxima E_{max} del dispositivo de almacenamiento de energía. Observando la Figura 4, el caso de máximo error se produce cuando la potencia demandada P_d es máxima y EF es nula (intervalo de tiempo $[0,1]$) o al revés (intervalo de tiempo $[4,5]$). En estos casos la carga o energía 3 del dispositivo de almacenamiento sigue una rampa de máxima pendiente. El algoritmo de control podrá actuar en el fragmento de energía 1 siguiente para evitar la sobrecarga del dispositivo de almacenamiento. Por ejemplo, bajando a cero el fragmento de energía 1 en el intervalo de tiempo $[1,2]$. En ese momento la potencia demandada 2 sólo puede subir, y por tanto el dispositivo de almacenamiento de energía sólo puede descargar. La energía total almacenada en estos dos intervalos define un margen de seguridad (e_b). Igualmente, si ocurriese la secuencia contraria (P_d máxima y EF nula), como ocurre en el intervalo de tiempo $[4,5]$, el algoritmo de control deberá actuar subiendo el fragmento de energía 1 en el intervalo de tiempo siguiente $[5-6]$ para evitar la descarga total del dispositivo de almacenamiento de energía. En este caso e_b sería el mismo, pero tomado desde la descarga total. El algoritmo está programado de tal modo que mantenga el dispositivo de almacenamiento de energía en niveles de carga próximos al 50% de su capacidad, siempre alejado un intervalo o margen de seguridad e_b de los extremos superior e inferior. Si se sobrepasase el margen se actuaría tal y como se refleja en la Figura 4.

La **Figura 5** muestra un ejemplo de evolución del nivel de carga del dispositivo de almacenamiento de energía. Las líneas horizontales extremas (4, 5) indican, respectivamente, los niveles máximos E_{max} y mínimos E_{min} de carga del dispositivo. Las líneas punteadas más próximas delimitan los márgenes de seguridad, sombreados en gris y de anchura e_b . La línea

media define un objetivo de nivel de carga 6, esto es, un nivel de carga intermedio que se fija como objetivo (por ejemplo, el 50% de la capacidad de carga total). Utilizando los márgenes de seguridad (e_b) se garantiza que el nivel de carga del dispositivo de almacenamiento de energía 20 se mantiene dentro de un nivel de operación 7 establecido. Por supuesto, el algoritmo de control se puede configurar para operar en el dispositivo de almacenamiento de energía con cualquier nivel de operación 7, objetivo de nivel de carga 6, nivel de carga máximo 4 y nivel de carga mínimo 5 (por ejemplo, 40%, 80% y 10% de la capacidad máxima, respectivamente).

La **Figura 6** muestra un diagrama de flujo con una de las posibles implementaciones del algoritmo de control ejecutado por el método. En esta solución se parte de la potencia final (p_2) y del instante final t_2 del último fragmento de energía 1, el cual define la potencia inicial (p_1) y el instante inicial t_1 del siguiente fragmento (etapa 100 de la Figura 6). Con respecto a dicho punto, se calcula en la etapa 102 la potencia objetivo (p_0) y el tiempo objetivo t_0 , de tal modo que el nuevo fragmento de energía 1 (área bajo el segmento (P_1-P_0)) contenga la energía demandada más (o menos) la necesaria para llevar el dispositivo de almacenamiento a valores cercanos al nivel de carga objetivo 6 (por ejemplo, el 50% de su carga máxima según el ejemplo de la Figura 5). Existen diversas formas de implementar este objetivo, que dependerán del conocimiento más o menos preciso que se tenga de la demanda. No obstante, como ejemplo, se puede establecer $t_0=t_1+a_1$ donde a es un intervalo de tiempo fijo. Se puede escoger $p_0=2[P_d(t_1)+(e_{50\%}-e(t_1))/a]-p_1$, donde p_1 es la potencia de partida, $P_d(t_1)$ la potencia demandada en el instante t_1 , $e_{50\%}$ la mitad de la energía máxima almacenable, y $e(t_1)$ la energía almacenada en el instante t_1 . A continuación, se calcula en la etapa 104 el tiempo máximo (t_{max}) en el cual, en la peor de las situaciones (máximo error entre demanda prevista y real) se superaría un margen de seguridad (e_b). Como ejemplo, para el caso de exceder el margen superior, el tiempo máximo se calcula con la fórmula:

$$t_{max} = t_1 - \frac{P_1 - \sqrt{P_1^2 + 2(P_0 - P_1)(e_m - e_1)/(t_0 - t_1)}}{(P_0 - P_1)/(t_0 - t_1)}$$

Donde e_1 es la energía almacenada al principio del fragmento y e_m la energía que resulta de restar de la capacidad máxima del dispositivo (E_{max}) el margen de seguridad (e_b).

Posteriormente, se compara en la etapa 106 si dicho tiempo máximo (t_{max}) es inferior al intervalo mínimo (Δt_{min}) de duración de un fragmento de energía 1 sobre el instante inicial t_1 . De ser así, entonces se está a punto de invadir alguno de los márgenes de seguridad (e_b) y es necesario actuar como si ya hubiera sucedido, escogiendo en el paso 120 el tiempo mínimo Δt_{min} para hallar el instante final t_2 ($t_2 = t_1 + \Delta t_{min}$) del siguiente fragmento de energía 1; y la potencia final $p_2=0$, si se está a punto de invadir el margen de seguridad superior ($E_{max}-e_b$) de la energía almacenada en el dispositivo de almacenamiento, o $p_2=p_{max}$, donde p_{max} es la potencia máxima contratada, si se está a punto de invadir el margen de seguridad inferior ($E_{min}+e_b$). Si, por el contrario, dicho tiempo máximo (t_{max}) es superior al intervalo mínimo (Δt_{min}) sobre el instante inicial t_1 , entonces se toma (según se muestra en las etapas 110, 112 y 114) como instante final t_2 el menor de los dos tiempos posibles ($\min\{t_0, t_{max}\}$), y la potencia final $p_2=p_1+(p_0-p_1)(t_{min}-t_1)/(t_0-t_1)$. Este último valor surge de la extrapolación lineal del fragmento de energía 1 a un intervalo de tiempo inferior. Con este algoritmo de control y una capacidad suficiente en el dispositivo de almacenamiento de energía, éste nunca se desborda.

Para que el método funcione el usuario ha de tener al menos un dispositivo de intercambio de energía que:

- 1- Mantenga la sincronización con el productor.

2- Calcule los fragmentos de energía 1 a adquirir de modo que nunca se exceda la capacidad del dispositivo de almacenamiento de energía (formado por ejemplo por una batería y un inversor).

5 3- Se comunique con el productor o productores y adquiera los fragmentos de energía.

4- Monitorice la demanda suministrada y la consumida.

10 5- Gestione la diferencia controlando la carga y descarga del dispositivo de almacenamiento de energía.

Un esquema del dispositivo de intercambio de energía 10 está representado en la **Figura 7A**. El dispositivo de intercambio de energía 10 comprende los siguientes elementos: una unidad de control o unidad central de proceso 11 (CPU), una interfaz de entrada/salida 12 (E/S), una o
15 varias interfaces de red 13 (RED), un módulo de sincronización 14 (GPS, por ejemplo) y una interfaz de usuario 15 (UI) para la interacción con el usuario.

La CPU 11 puede ser desde una FPGA hasta un microcontrolador, es decir, un conjunto de circuitos integrados y/o elementos electrónicos capaces de ejecutar un algoritmo de control.
20 Por lo general, consta de al menos una unidad de memoria no volátil (por ejemplo, EEPROM) donde se aloja el algoritmo de control, y otra memoria (por ejemplo, RAM) para operar además del procesador en sí.

La interfaz de entrada/salida 12 consta de una serie de puertos para conectar los sensores y los actuadores a controlar. Internamente la interfaz de entrada/salida 12 comprende una serie de adaptadores de tensión e intensidad, así como elementos de protección para transferir la información entre los puertos y la CPU 11 (optoacopladores, relés, convertidores A/D, etc.). En una realización, los sensores controlados por el dispositivo de intercambio de energía 10 incluyen: un voltímetro para medir la tensión de la red eléctrica 60 tras la acometida 70, dos
30 amperímetros (S1, S2) destinados a monitorizar las intensidades hacia el dispositivo de almacenamiento de energía 20 (SD) y hacia el resto de elementos de consumo (electrodomésticos del hogar), y un sensor del nivel de carga del dispositivo de almacenamiento de energía 20. Como actuadores se emplea al menos uno para especificar al dispositivo de almacenamiento de energía 20 cuánta energía debe almacenar o proveer. Otros
35 sensores empleados pueden ser más amperímetros o vatímetros que ayuden al dispositivo a prever con mayor eficacia la potencia demandada en un futuro próximo. Por ejemplo, un vatímetro en la conexión de una lavadora puede permitir al dispositivo de control reconocer el inicio de un determinado ciclo de lavado y superponer la previsible función de potencia demandada sobre la general. El control del dispositivo de almacenamiento de energía 20, dependiendo de su diseño, puede requerir más de un puerto tanto de control como de
40 señalización.

En una posible realización, no mostrada en las figuras, el dispositivo de intercambio de energía 10 puede incluir internamente el sensor de medida (S1) de la cantidad real de energía consumida o producida por el primer usuario (40; 42) y/o el sensor de medida (S2) de la
45 cantidad real de energía almacenada o suministrada por el dispositivo de almacenamiento de energía 20. Del dispositivo de intercambio de energía 10 saldrían tres cables de potencia: uno hacia la acometida, otro hacia el dispositivo de almacenamiento de energía 20 y un último hacia los elementos de consumo del usuario (p.ej. red eléctrica del hogar). Los sensores de medida de energía se pueden implementar, por ejemplo, mediante vatímetros o con al menos
50 dos amperímetros (uno en serie con cada tributario) y un voltímetro.

El módulo de sincronización 14 sirve para coordinar un primer usuario (consumidor 40, en el ejemplo de la figura) con otro/s usuario/s (productor 30, en el ejemplo mostrado); por tanto,

ambos han de mantener el equivalente a unos relojes sincronizados. Un sensor interno GPS constituye el método más simple y eficaz de sincronización. Sin embargo, este sensor puede sustituirse con la adopción del protocolo NTP o del protocolo PTP que provea la sincronización comunicando con un servidor a través de una red de comunicación 50 (e.g. Internet, GSM, LAN dedicada, VPN, etc). En previsión de que la ubicación del dispositivo quede oculta a la señal GPS, el módulo de sincronización 14 puede ser externo al dispositivo de intercambio de energía 10 y comunicarse con éste a través de un cable dedicado o a través de red.

La interfaz de red 13 (RED) habilita la comunicación del dispositivo de intercambio de energía 10 con el proveedor 30. Puede comprender, por ejemplo, una tarjeta Ethernet, WiFi, GSM, xDSL, PLC, etc. (al menos una de ellas). No obstante, una configuración con dos tarjetas de red que utilicen infraestructuras diferentes (por ejemplo, Ethernet y GSM) otorga la redundancia necesaria para asegurar el servicio en caso de fallo. La interfaz de red 13 también puede servir para comunicar con otros sensores o actuadores (por ejemplo, vatímetros Z-Wave o KNX).

La interfaz de usuario 15 puede comprender uno o varios de los elementos siguientes:

- Medios de entrada 16 (e.g. una serie de botones o pulsadores, una pantalla táctil) y medios de visualización 17 (e.g. testigos LED, una pantalla) dispuestos sobre el propio dispositivo y que permiten al usuario conocer el estado de funcionamiento e intervenir sobre él. Por ejemplo, puede haber un botón de puesta en marcha y una luz indicadora de su estado de funcionamiento.
- Una conexión para ordenador 18 o para consola. Puede ser un conector USB, RS-232, PS-2 y HDMI, etc. También pueden utilizarse las tarjetas de red anteriormente descritas, interfaz de red 30, para comunicarse con un ordenador (por ejemplo, una tarjeta Ethernet puede dar servicio simultáneamente para la comunicación con el productor 30 y para la interacción con el usuario desde un ordenador).
- Una conexión inalámbrica para gestión desde un móvil inteligente, una tableta electrónica o una PDA 19, un panel de control domótico, etc.

A través de la interfaz de usuario 15 se pueden establecer los parámetros de funcionamiento del dispositivo (datos del proveedor, condiciones de compra, etc.), y monitorizar su funcionamiento (nivel de carga del dispositivo de almacenamiento de energía 20, total facturado, descargar pautas de consumo, etc.).

Todo lo explicado con respecto al primer usuario como consumidor 40 es aplicable también a un primer usuario como productor 42 en un sistema de generación distribuida, tal y como se muestra en el ejemplo de la Figura 7B. Es decir, un generador (productor 42) puede combinarse con un dispositivo de almacenamiento de energía 20 para poder transferir a la red exactamente los fragmentos de energía 1 vendidos. Por tanto, el productor 42 debe seguir una función de producción igual a la suma de todos los fragmentos de energía 1 en proceso de transferencia. Si el generador (placas solares fotovoltaicas, generadores eólicos, de biomasa, etc.) no puede seguir dicha función, el dispositivo de almacenamiento puede suplir esta carencia del mismo modo que en el caso del primer usuario como consumidor 40.

En otra realización, no mostrada en las figuras, el primer usuario puede ser consumidor 40 de energía y a la vez productor 42 de energía, de manera que en función del intervalo de tiempo determinado el primer usuario pueda estar generando energía, si la energía total producida por el generador del primer usuario es superior a la energía total consumida por los dispositivos de consumo del primer usuario, o consumiendo energía, si es a la inversa. En cualquier caso, sea generador o consumidor de energía, el primer usuario (40; 42) está intercambiando energía con la red eléctrica.

En las realizaciones mostradas en las Figuras 7A y 7B, el primer usuario es un consumidor 40 o un productor 42 que, en ambos casos, requiere de un dispositivo de almacenamiento de energía para poder ajustar fragmentos de energía 1 exactos. En otras realizaciones, el primer usuario puede ser un generador capaz de emitir fragmentos de energía 1 exactos sin necesidad de dispositivo de almacenamiento, o un consumidor capaz de consumir fragmentos de energía 1 exactos sin necesidad de dispositivo de almacenamiento. Por ejemplo, un conjunto de paneles fotovoltaicos en combinación con un convertidor DC/AC apropiado puede generar fragmentos de energía 1 exactos si éstos están por debajo de su capacidad de generación máxima en cada intervalo. Por el lado del consumidor, si la carga es un sistema de calefacción basado en resistencias, éstas se pueden activar coincidiendo con fragmentos de energía 1 de valor constante e igual a la potencia de dichas resistencias.

En otra posible realización, no mostrada en las figuras, el dispositivo de almacenamiento de energía 20 no es local sino externo al primer usuario, esto es, se localiza fuera de la ubicación del primer usuario (ya sea consumidor 40 o productor 42), conectado a la red eléctrica 60. En este caso, el primer usuario (40; 42) y el dispositivo de almacenamiento de energía 20 se comunican para notificar continuamente el sobrante o excedente de energía sobre el fragmento comercializado.

El control del intercambio de energía puede ser centralizado; es decir, el gestor (la compañía eléctrica, una agencia, el productor de energía, etc.) recibe el estado de carga del dispositivo de almacenamiento de energía 20 (ya sea local o externo), el consumo 20 actual del usuario así como cualquier información que ayude a prever su consumo futuro (inicio de un ciclo determinado de lavado, puesta en marcha de un termo eléctrico y temperatura actual del agua, etc.) y en función de esa información (y opcionalmente la de otros usuarios, precios de la energía, si es renovable o no, etc.) determina el fragmento de energía 1 más conveniente.

En una realización, los fragmentos de energía 1 se definen en intervalos largos con la intención de proveer de información de reserva al proveedor para el caso de interrupciones en la comunicación. De este modo, el proveedor sigue el contrato del último fragmento de energía 1 a menos que un nuevo fragmento de energía 1 trunque el anterior y lo sustituya a partir de un instante dado. En este caso, si la comunicación se mantiene, tendría como efecto un funcionamiento igual al anteriormente descrito. Si por el contrario se interrumpe, el proveedor asumiría el último fragmento de energía notificado con éxito, prolongando de esta forma el suministro.

Los fragmentos de energía 1 pueden estar predefinidos en su extensión temporal o en la magnitud de la energía aportada, o en ambos a la vez, de tal modo que se escogen dentro de un conjunto finito de elementos posibles o como una combinación lineal de los elementos de dicho conjunto. Esta disposición permite operar con los fragmentos de energía como bienes de consumo discreto, facilitando las operaciones comerciales y la gestión por parte del proveedor.

La **Figura 8** muestra, para el ejemplo de la Figura 7A, un esquema de una posible realización de un sistema de intercambio de energía que comprende un dispositivo de intercambio de energía 10 y un dispositivo de almacenamiento de energía 20. En dicha realización el dispositivo de almacenamiento de energía 20 comprende al menos un elemento de almacenamiento de energía (implementado en la figura mediante una batería de supercondensadores 21), cuya carga es regulada por un convertidor AC/DC 22 bidireccional. Dicho convertidor AC/DC 22 se halla conectado por un lado al bus de continua 90 que aglutina a la batería de condensadores y por otro a la acometida 70 de la red eléctrica 60, no sin antes pasar por un vatímetro (W_2). Además, el convertidor AC/DC 22 está conectado a la CPU 11, a la cual envía señales de estado 23 y de la que recibe señales de control 24. Las señales de control 23 están destinadas a indicar al convertidor AC/DC 22 en cada momento el sentido (almacenamiento o extracción) y la magnitud (potencia eléctrica) de la energía eléctrica a

intercambiar con la batería de condensadores. Dicha acción tiene como objetivo el seguimiento de los fragmentos de energía 1, y la salvaguarda de la batería de condensadores (mantener su nivel de carga dentro de los parámetros de seguridad). Esta acción de control puede ser ejecutada por un circuito electrónico específico o directamente por el microprocesador principal de la CPU 11.

La CPU 11 engloba la electrónica necesaria para el funcionamiento del dispositivo. La CPU 11 se puede alimentar de una toma separada del convertidor AC/DC 22, del mismo bus de continua 90 destinado a los supercondensadores 21, o directamente de la toma de red alterna mediante un circuito rectificador apropiado. Las conexiones son:

- Señales de estado 23 y control 24 al convertidor AC/DC 22.
- Vatímetro (W_2) en serie con el convertidor y vatímetro (W_1) en serie con la instalación del primer usuario (consumidor 40), que se corresponden a los sensores S_1 y S_2 de la Figura 7A.
- Señal de estado de carga ("E") de la batería de condensadores.
- Interfaz de usuario 15: botones, leds y/o pantalla del dispositivo a través de los cuales el usuario puede interactuar.
- Interfaz de red 13: módulos de red, por ejemplo dos tarjetas de red ("Red-1" y "Red-2"). En esta implementación preferente son módulos extraíbles e intercambiables, de modo que el usuario pueda adquirir e implementar los que mejor convenga a su instalación de comunicaciones particular (por ejemplo: WiFi y LTE, o Ethernet y PLC a través de la toma de potencia, etc.). La utilidad de que sean dos ofrece redundancia (si se pierde la comunicación con el proveedor a través de una se puede restablecer con la otra), además de versatilidad y posibilidad de incorporar la información de otros sensores inalámbricos. Este dispositivo puede gestionarse a través de los módulos de red.

En una realización, el dispositivo de intercambio de energía 10 puede incorporar el convertidor AC/DC 22 bidireccional controlado internamente desde la CPU 11. De este modo, el dispositivo de intercambio de energía 10 dispondría de una o varias salidas para conectar elementos de almacenamiento de energía basados en corriente continua (baterías, condensadores, etc.). En una posible realización, el dispositivo de intercambio de energía 10 incorpora internamente el propio dispositivo de almacenamiento de energía 20. El dispositivo de almacenamiento de energía 20 se puede implementar, entre otros, mediante una batería de condensadores (o supercondensadores), volantes de inercia, baterías (e.g. litio, plomo, níquel) o células de combustible.

Por último, en esta realización preferente la sincronización de relojes se consigue mediante un módulo de sincronización 14 implementado por ejemplo con un sensor GPS situado en un lugar con la adecuada cobertura que se comunica con el dispositivo de intercambio de energía 10 a través de alguna de las tarjetas de red de la interfaz de red 13.

El dispositivo de intercambio de energía 10 puede estar dotado de funciones adicionales del tipo sistema de alimentación ininterrumpida, entre las cuales se recogen: fallos de alimentación; caídas de tensión; picos de intensidad, sobretensiones y huecos de tensión; sobretensiones prolongadas; huecos de tensión prolongados; variación en la frecuencia; distorsión armónica. El dispositivo de intercambio de energía 10 puede estar dotado de funciones adicionales relacionadas con el consumo, entre las cuales se recogen las siguientes:

- Registro y visualización del consumo total del día, de la semana, del mes, del fragmento del periodo de facturación en curso o de un intervalo especificado por el usuario, el proveedor asociado, su coste, la secuencia de fragmentos de energía 1 intercambiada, el error de seguimiento sobre la red además de los costes y penalizaciones que tuvieren lugar.

- Registro y visualización del consumo particular detectado por cada uno de los sensores del dispositivo (por ejemplo, cocina, lavadora, electrodomésticos del salón, de un dormitorio, etc.).

- Registro y visualización de los valores de estado del dispositivo. En particular la potencia demandada, la consumida, la destinada o extraída del dispositivo de almacenamiento de energía 20, el nivel de carga del dispositivo de almacenamiento de energía 20, el fragmento de energía 1 en curso y el fragmento de energía 1 previsto. En general cualquier otro valor con que opere el dispositivo; por ejemplo, márgenes de seguridad sobre el dispositivo de almacenamiento de energía 20, valores de estado del algoritmo de control, rendimiento, error de seguimiento, etc.

- Visualización y configuración de los parámetros de control del dispositivo. Por ejemplo, perfiles de carga de electrodomésticos, hábitos de consumo, preferencia entre proveedores, firma digital, parámetros de las redes comunicación, etc. En particular la posibilidad de consultar los precios de los fragmentos de energía 1 ofertados por los distintos proveedores, y otros rasgos comparativos: fiabilidad, proximidad, tipo (renovable, nuclear, gas...), servicios adicionales, etc.

El dispositivo de intercambio de energía 10 puede estar dotado de funciones adicionales relacionadas con servicios hacia agentes externos (proveedor, regulador, gestor de la red eléctrica), entre los cuales se recogen:

- Monitorización del nodo de interconexión por parte de un agente externo. Es decir, comunicación de la información relativa al consumo (potencia eléctrica consumida, demandada y almacenada) a la calidad de la energía (tensión, frecuencia y desfase detectados) así como de otros valores de interés (ruidos, anomalías y distorsiones detectadas...) al operador de la red (compañía eléctrica distribuidora), al proveedor, o a otros agentes que deban intervenir o registrar las operaciones realizadas (estado, intermediarios, asociaciones de consumidores). De este modo una compañía eléctrica puede implantar estos dispositivos como sustitutivos de los contadores actuales.

- Monitorización y gestión del dispositivo de almacenamiento de energía 20 por parte de un agente externo. Es decir, posibilidad de ordenar la carga o descarga del dispositivo de almacenamiento de energía 20 de forma adicional y/o simultánea a su servicio de seguimiento de un fragmento de energía 1. De este modo una compañía eléctrica puede utilizar estos dispositivos para gestionar mejor el desempeño de la red o la producción (picos de demanda y valles de consumo, por ejemplo).

- Monitorización y gestión de los valores de estado y de los parámetros de configuración por parte de un agente externo. Concretamente el proveedor puede valerse de dicha información (estado de carga del dispositivo de almacenamiento de energía 20 y hábitos de consumo del usuario) para prever próximos EFs y gestionar mejor la producción.

En una realización, el dispositivo de intercambio de energía 10 puede gestionar simultáneamente tomas de consumo y tomas de generación. Es decir, el dispositivo tiene

conexiones de consumo (luz, electrodomésticos, etc.) y conexiones de generación (e.g. paneles fotovoltaicos, aerogeneradores). La gestión es similar, sólo que tiene añadida la posibilidad de ofertar EFs a potenciales consumidores de acuerdo a la capacidad de generación de los elementos conectados.

5

REIVINDICACIONES

1. Método de intercambio sincronizado de energía entre usuarios de la red eléctrica para la gestión descentralizada, caracterizado por que comprende:

- 5
 - Obtener fragmentos de energía (1) a intercambiar en intervalos de tiempo entre un primer usuario (40; 42) con al menos otro usuario (30; 32) a través de la red eléctrica (60);
 - 10 – acordar una cantidad de energía (EF) a intercambiar entre el primer usuario (40, 42) con al menos otro usuario (30, 32) en cada intervalo de tiempo, donde dicha cantidad de energía (EF) coincide con la energía asociada al fragmento de energía (1) del intervalo correspondiente;
 - 15 – intercambiar, entre el primer usuario (40, 42) con al menos otro usuario (30, 32) y en cada intervalo de tiempo, la cantidad de energía (EF) acordada para dicho intervalo de tiempo;
 - 20 – medir, en cada intervalo de tiempo, la cantidad real de energía consumida o producida por el primer usuario (40; 42);
 - determinar la diferencia entre la energía real consumida o generada por el primer usuario (40; 42) y la cantidad de energía (EF) intercambiada en cada intervalo de tiempo;
 - 25 – almacenar o suministrar dicha diferencia de energía; donde la obtención de los fragmentos de energía (1) para los distintos intervalos de tiempo se realiza de manera secuencial.
- 30 2. Método según la reivindicación 1, caracterizado por que el almacenamiento o suministro de la diferencia de energía se realiza mediante un dispositivo de almacenamiento de energía (20).
3. Método según la reivindicación 2, caracterizado por que comprende medir el nivel de carga (E) del dispositivo de almacenamiento de energía (20), y donde la obtención de cada fragmento de energía (1) se realiza al menos en función de dicho nivel de carga (E).
- 35 4. Método según la reivindicación 3, caracterizado por que la obtención de cada fragmento de energía (1) se realiza en función de un objetivo de nivel de carga (6) en el dispositivo de almacenamiento de energía (20).
- 40 5. Método según la reivindicación 4, caracterizado por que la obtención de cada fragmento de energía (1) para un intervalo de tiempo determinado comprende calcular (102) una potencia objetivo (p_0) al final de dicho intervalo de tiempo, donde la potencia objetivo (p_0) depende del nivel de carga objetivo (6) y de una predicción de la potencia a consumir o generar por el primer usuario (40; 42) considerando el consumo o generación de al menos un intervalo inmediatamente anterior.
- 45 6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, caracterizado por que la obtención de cada fragmento de energía (1) se realiza en función de unos márgenes de seguridad (e_b) para mantener el nivel de carga del dispositivo de almacenamiento de energía (20) dentro de un nivel de operación (7) establecido.
- 50

7. Método según la reivindicación 6, caracterizado por que en la obtención de cada fragmento de energía (1) se considera modificar los intervalos de tiempo de los diferentes fragmentos de energía (1) para mantener el nivel de carga del dispositivo de almacenamiento de energía (20) dentro del nivel de operación (7) establecido.
- 5 8. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la obtención de cada fragmento de energía (1) para un intervalo de tiempo determinado se realiza en el intervalo de tiempo inmediatamente anterior.
- 10 9. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los fragmentos de energía (1) en cada intervalo de tiempo se definen mediante una línea recta entre una potencia final (p_2), en el instante final (t_2) del intervalo, y una potencia inicial (p_1), en el instante inicial (t_1) del intervalo.
- 15 10. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende realizar una sincronización periódica entre el primer usuario (40; 42) y al menos otro usuario (30; 32).
- 20 11. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el primer usuario es cualquiera de los siguientes:
- consumidor (40) de energía;
 - productor (42) de energía;
 - consumidor y productor de energía.
- 25 12. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el intercambio de energía realizado en cada intervalo de tiempo se realiza mediante seguimiento continuo de la potencia instantánea del fragmento de energía (1).
- 30 13. Dispositivo de intercambio sincronizado de energía entre usuarios de la red eléctrica para la gestión descentralizada, caracterizado porque comprende una unidad de control (11) configurada para:
- obtener fragmentos de energía (1) a intercambiar en intervalos de tiempo entre un primer usuario (40; 42) con al menos otro usuario (30; 32) a través de la red eléctrica (60);
 - acordar una cantidad de energía (EF) a intercambiar entre el primer usuario (40, 42) con al menos otro usuario (30, 32) en cada intervalo de tiempo, donde dicha cantidad de energía (EF) coincide con la energía asociada al fragmento de energía (1) del intervalo correspondiente;
 - obtener, en cada intervalo de tiempo, la cantidad real de energía consumida o producida por el primer usuario (40; 42);
 - determinar la diferencia entre la energía real consumida o generada por el primer usuario (40; 42) y la cantidad de energía (EF) intercambiada en cada intervalo de tiempo;
 - gestionar el almacenamiento o suministro de dicha diferencia de energía; donde la obtención de los fragmentos de energía (1) para los distintos intervalos de tiempo se realiza de manera secuencial.
- 35 40 45 50

14. Dispositivo según la reivindicación 13, caracterizado por que, para la gestión del almacenamiento o suministro de la diferencia de energía, la unidad de control (11) está configurada para enviar señales de control (24) a un dispositivo de almacenamiento de energía (20) y recibir señales de estado (23) del mismo.
- 5 15. Dispositivo según la reivindicación 14, caracterizado por que la unidad de control (11) está configurada para: medir el nivel de carga (E) del dispositivo de almacenamiento de energía (20), y obtener cada fragmento de energía (1) al menos en función de dicho nivel de carga (E).
- 10 16. Dispositivo según la reivindicación 15, caracterizado por que la unidad de control (11) está configurada para obtener cada fragmento de energía (1) en función de un objetivo de nivel de carga (6) en el dispositivo de almacenamiento de energía (20).
- 15 17. Dispositivo según la reivindicación 16, caracterizado por que, para la obtención de cada fragmento de energía (1) para un intervalo de tiempo determinado, la unidad de control (11) está configurada para calcular (102) una potencia objetivo (p_0) al final de dicho intervalo de tiempo, donde la potencia objetivo (p_0) depende del nivel de carga objetivo (6) y de una predicción de la potencia a consumir o generar por el primer usuario (40; 42) considerando el consumo o generación de al menos un intervalo inmediatamente anterior.
- 20 18. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 17, caracterizado porque la unidad de control (11) está configurada para realizar la obtención de cada fragmento de energía (1) en función de unos márgenes de seguridad (e_b) para mantener el nivel de carga del dispositivo de almacenamiento de energía (20) dentro de un nivel de operación (7) establecido.
- 25 19. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 18, caracterizado por que comprende una interfaz de entrada/salida (12) para la conexión con un sensor de medida (S2; W2) de la cantidad real de energía almacenada o suministrada por el dispositivo de almacenamiento de energía (20).
- 30 20. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 19, caracterizado porque comprende el dispositivo de almacenamiento de energía (20).
- 35 21. Dispositivo según la reivindicación 20, caracterizado por que el dispositivo de almacenamiento de energía (20) comprende al menos un elemento de almacenamiento de energía (21) y un convertidor AC/DC (22) controlado por la unidad de control (11) para regular la carga de al menos un elemento de almacenamiento de energía (21).
- 40 22. Dispositivo según la reivindicación 20 o 21, caracterizado por que el dispositivo de almacenamiento de energía (20) comprende una batería de supercondensadores (21).
- 45 23. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 19, caracterizado porque comprende un convertidor AC/DC (22) bidireccional controlado por la unidad de control (11) para regular la carga del dispositivo de almacenamiento de energía (20).
24. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 23, caracterizado por que comprende una interfaz de entrada/salida (12) para la conexión con un sensor de medida (S1; W1) de la cantidad real de energía consumida o producida por el primer usuario (40; 42).
- 50 25. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 24, caracterizado porque comprende un sensor de medida de la cantidad real de energía almacenada o suministrada por el dispositivo de almacenamiento de energía (20).

26. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 25, caracterizado porque comprende un sensor de medida de la cantidad real de energía consumida o producida por el primer usuario (40; 42).
- 5 27. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 26, caracterizado porque comprende un módulo de sincronización (14) configurado para realizar una sincronización periódica entre el primer usuario (40; 42) y al menos otro usuario (30; 32).
- 10 28. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 27, caracterizado porque comprende una interfaz de red (13) configurada para comunicarse con al menos otro usuario (30; 32).
- 15 29. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 28, caracterizado porque comprende una interfaz de usuario (15) para la interacción con el usuario.

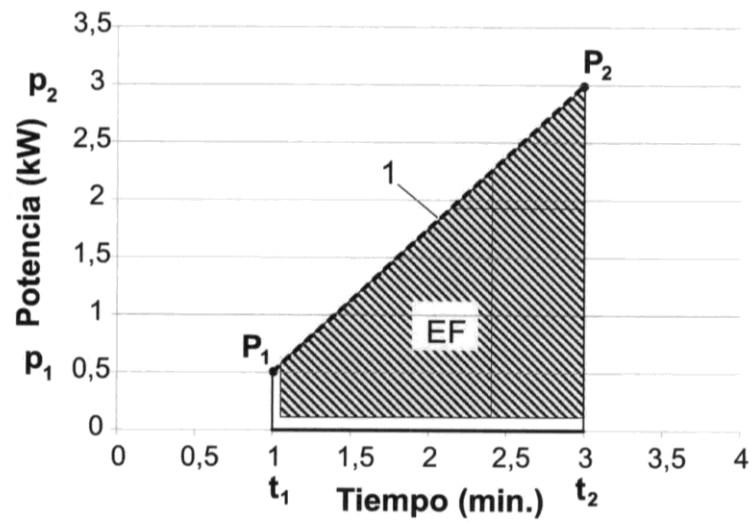


Fig. 1

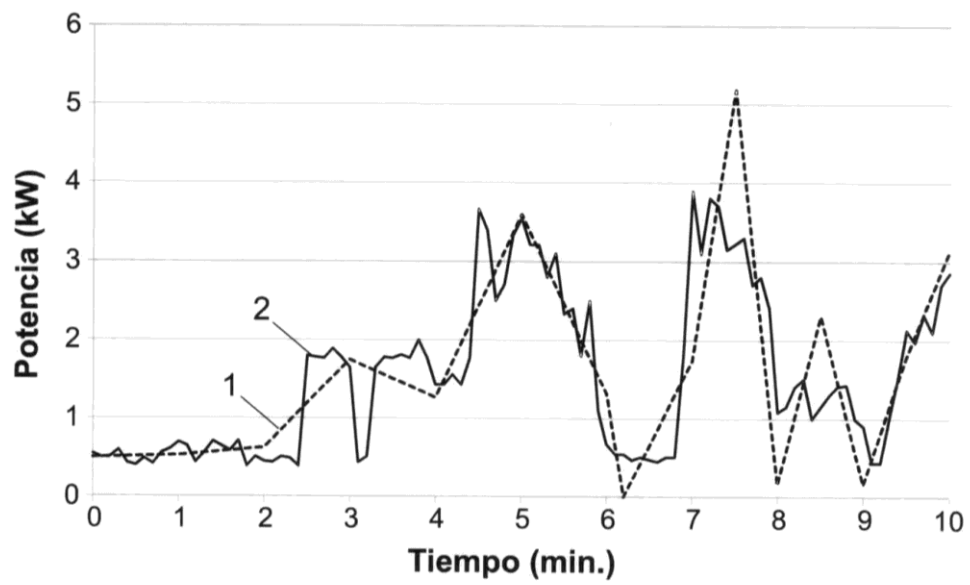
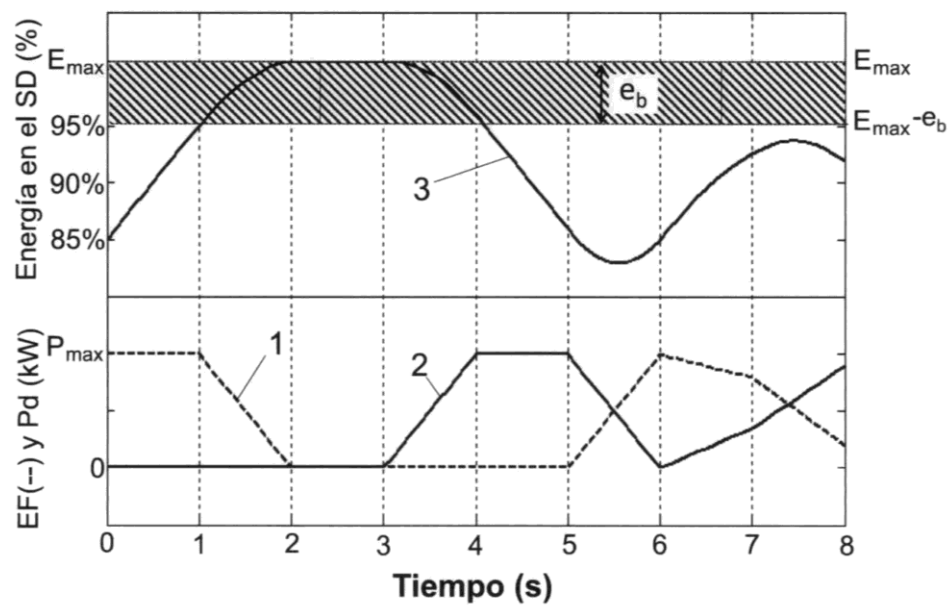
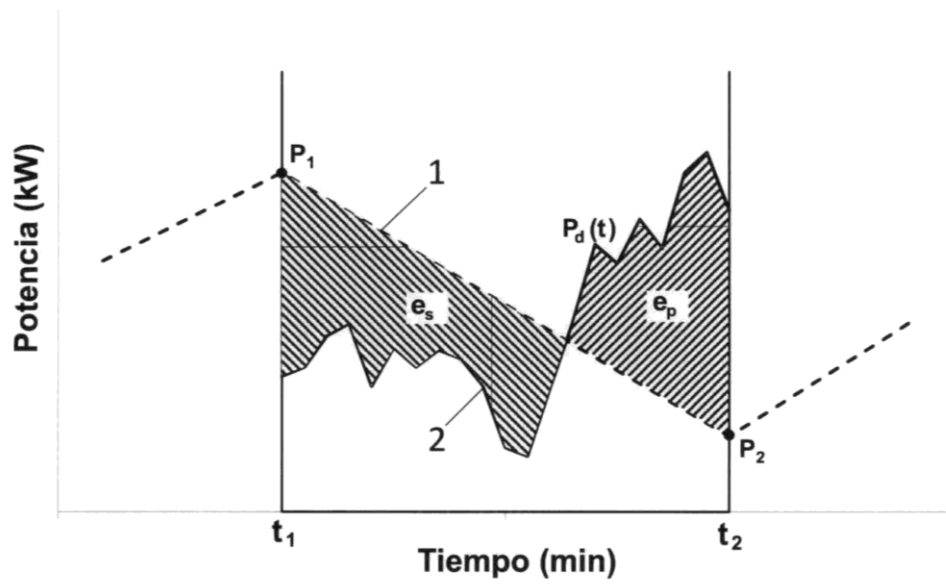


Fig. 2



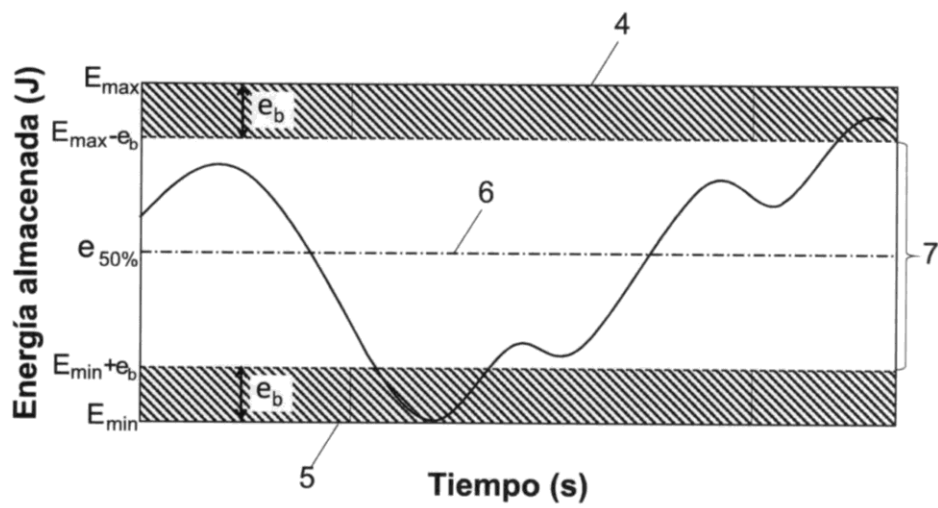


Fig. 5

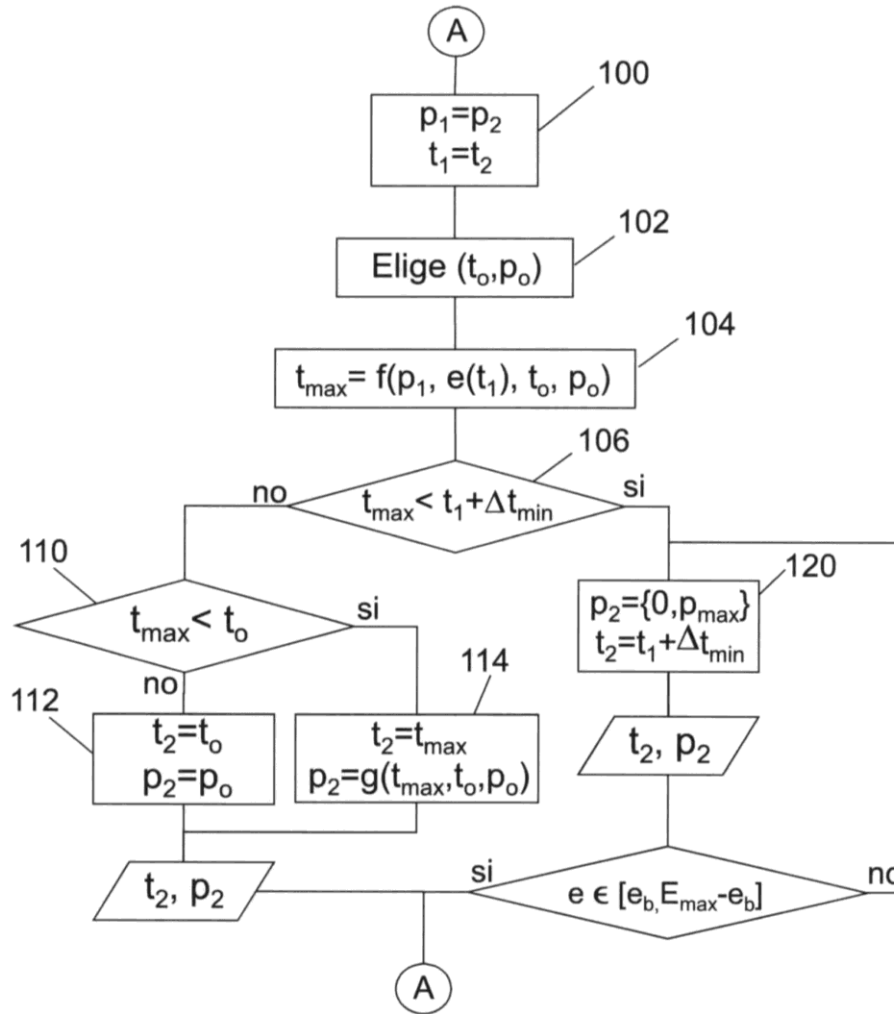


Fig. 6

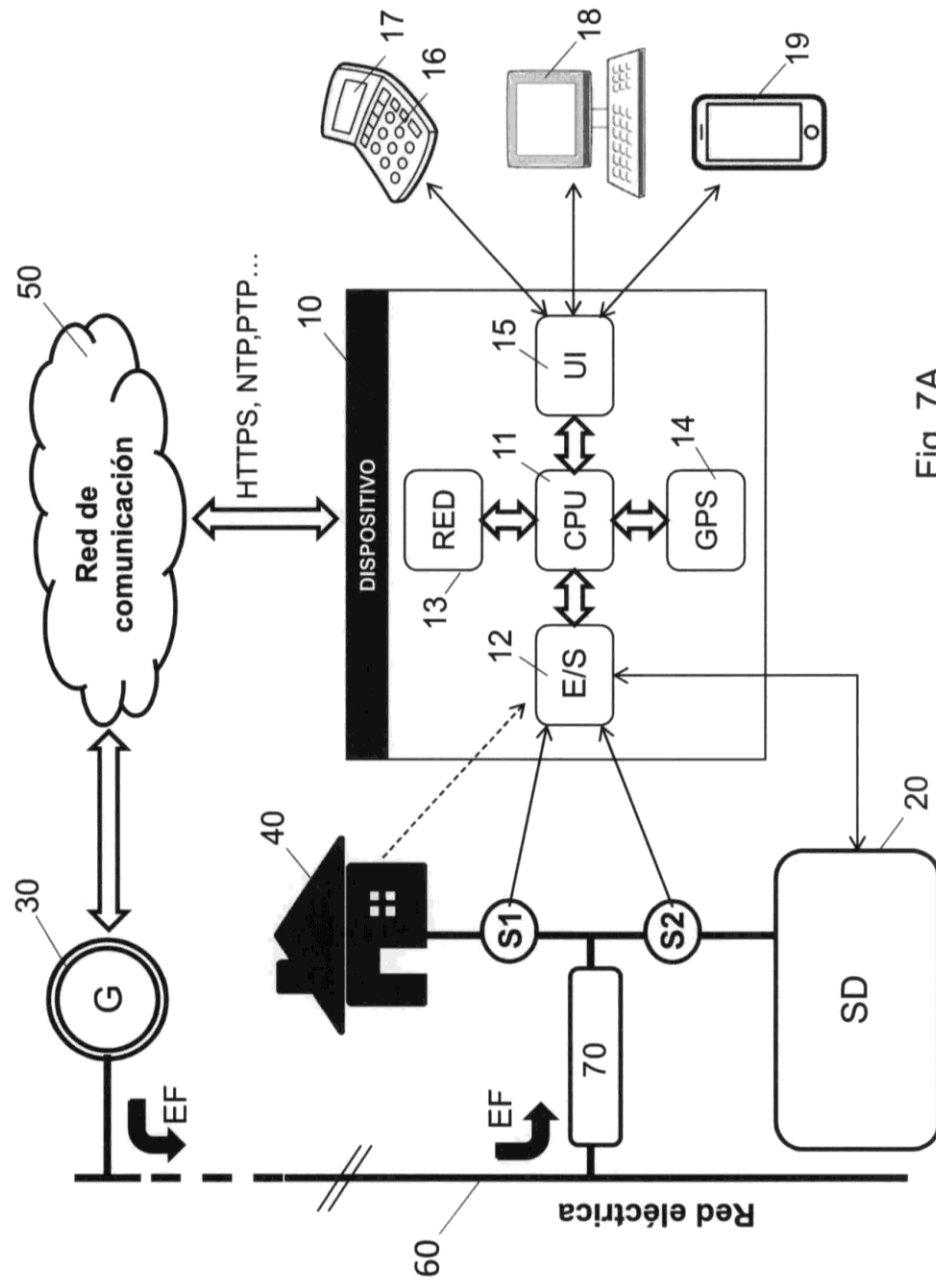


Fig. 7A

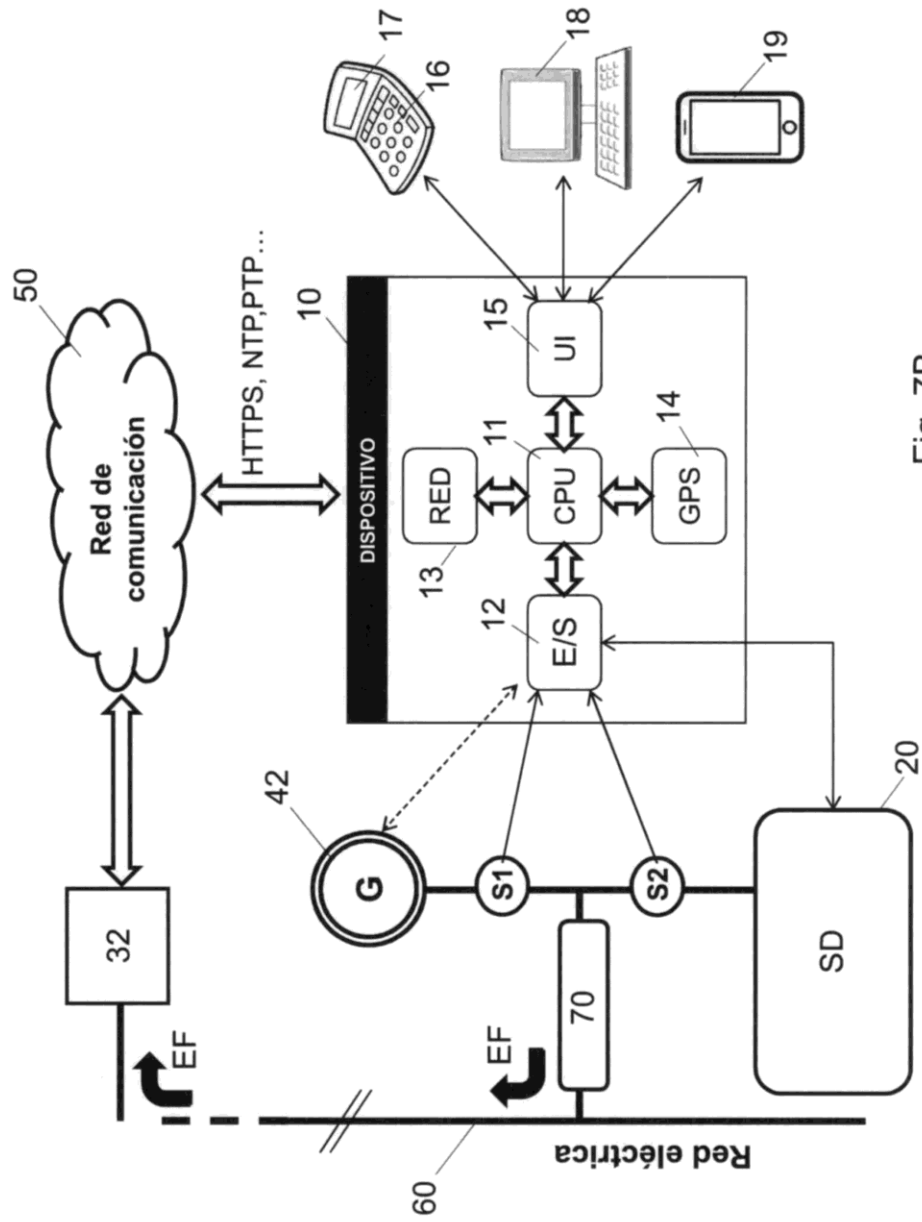


Fig. 7B

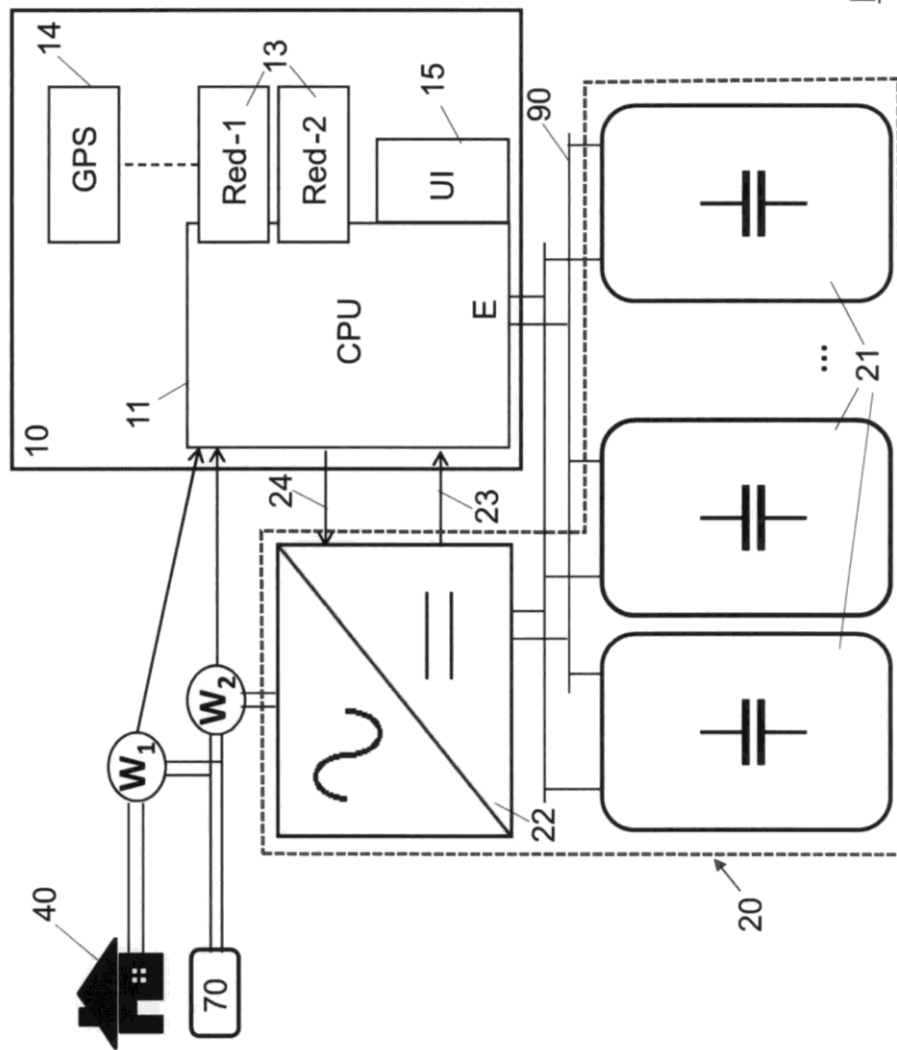


Fig. 8