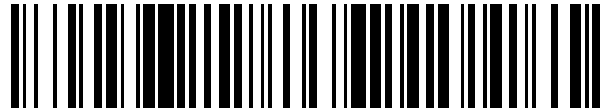


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 703**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/32** (2006.01)

**H02J 3/38** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.09.2017** E 17189499 (1)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2019** EP 3293847

54 Título: **Procedimiento de control de una central de producción eléctrica**

30 Prioridad:

**07.09.2016 FR 1658293**

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

**02.12.2019**

73 Titular/es:

**SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS  
(100.0%)  
35, rue Joseph Monier  
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**PFLAUM, PETER y  
ALAMIR, MAZEN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 733 703 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).

**DESCRIPCION**

Procedimiento de control de una central de producción eléctrica

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de control de una central de producción de energía renovable. Más particularmente, el procedimiento de control de la central contempla predecir un perfil de potencia destinado a ser entregado a una red de distribución eléctrica con un índice de confianza dado.

**Técnica anterior**

10 Las fuentes de energía renovables son conocidas por presentar un carácter intermitente y fluctuante que debe ser compensado permanentemente por fuentes de producción de energía convencionales para asegurar la estabilidad de las redes de distribución eléctrica a las que están conectadas.

Esta compensación impone sin embargo, a las fuentes de producción de energía convencionales, restricciones que afectan a su funcionamiento ya su rendimiento. Estas restricciones son aún más importantes ya que las fuentes de energía renovable son cada vez más descentralizadas (dicho de otro modo, a distancia de las fuentes de producción convencionales).

15 Por otra parte, la compensación de las fluctuaciones por las fuentes de producción de energía convencionales tiene una incidencia directa sobre la calidad de la tensión y de la corriente entregadas a la red de distribución de electricidad debido a sus tiempos de reacción.

Por consiguiente, el crecimiento de las centrales de producción de energía renovable necesita replantear su funcionamiento y su control.

20 A este respecto, en lo sucesivo se exige a los explotadores de las centrales de producción de energía renovable declarar de antemano la potencia que planean inyectar a la red de distribución.

25 Por tanto, el documento US 8996187 propone un procedimiento de dimensionamiento de un sistema de acumulación de energía destinado a compensar los efectos de la intermitencia de las fuentes de producción de energía renovable. De forma más particular, este procedimiento toma en cuenta las incertidumbres de previsiones de producción de energía renovable y de consumo por un enfoque estocástico con el fin de equilibrar la producción y el consumo de energía.

El documento FR 2996695 describe un procedimiento de control de una batería de almacenamiento.

Sin embargo, este procedimiento no es satisfactorio.

30 De hecho, este procedimiento tiene esencialmente por objeto el dimensionamiento un sistema de acumulación de energía y no puede garantizar, a su explotador una inyección óptima en la red de distribución de electricidad de la potencia producida por las fuentes de producción de energía renovable.

Un objetivo de la presente invención es por tanto proponer un procedimiento de control de una central calibrada de manera que un máximo de potencia eléctrica, teniendo en cuenta las restricciones que le son impuestas, pueda ser inyectada en la red de distribución eléctrica.

35 Otro objetivo de la presente invención es del mismo modo proponer un método de calibración que permita optimizar el procedimiento de control de la central. De forma más particular, el método de calibración está destinado a garantizar con un índice de confianza conocido, que una cantidad de potencia mínima pueda ser inyectada en la red de distribución eléctrica.

**Descripción de la invención**

40 Los objetivos de la invención son alcanzados al menos en parte por un procedimiento de control de una central de producción de energía eléctrica que comprende al menos una fuente de energía renovable, al menos un sistema de acumulación de energía, el procedimiento que comprende:

45 una etapa de determinación, por un módulo óptimo, de un perfil  $P_G$  de potencia a declarar, el perfil  $P_G$  de potencia que es un perfil de potencia destinado a ser entregado a lo largo de un periodo  $T$  temporal, que comienza en un instante  $t_0$ , por la central de producción de energía eléctrica, el perfil  $P_G$  de potencia que es determinado con respecto a una previsión  $P_R$  de producción del perfil de potencia de la al menos una fuente de energía renovable, y que se corresponde a un perfil  $P(t)$  de potencia que permite maximizar una función  $F$  objetivo de la forma:

$$F = \sum_{t=t_0}^{t_0+T} (P(t) - \rho \cdot \|SOC(t) - \theta_1 \cdot C_{bat}\|)$$

Siendo  $P(t)$  una potencia en un instante del periodo  $T$ ,  $SOC(t)$  un estado de carga, ajustable, del sistema de acumulación de energía en un instante  $t$  del periodo  $T$ ,  $\rho$  es un factor de ponderación, y  $C_{bat}$  que es la capacidad del sistema de acumulación de energía,

5 el perfil  $P_G$  de potencia está sometido a una restricción de la forma:

$$P_G \leq \theta_2 \cdot P_R - P_{bat}$$

Siendo  $P_{bat}$  la potencia consumida por el sistema de acumulación de energía,

las magnitudes  $\theta_1$  y  $\theta_2$  que corresponden a componentes de un vector  $\theta$  de concepción predeterminado.

10 El vector  $\theta$  de concepción representa de forma ventajosa un estado de calibración del procedimiento de control de una central de producción de energía eléctrica, según la invención. De forma más particular, el vector  $\theta$  de concepción está adaptado para asegurar, con un grado de confianza conocido, el suministro de un máximo de potencia producido por la fuente de energía renovable y conforme al perfil  $P_G$  de potencia a declarar.

15 Según un modo de implementación, el procedimiento comprende además una etapa de regulación, ejecutada por un módulo en tiempo real, destinado a ajustar, en tiempo real, el estado de carga  $SOC(t)$  de manera que regula una potencia  $P_E$  efectivamente entregada por la central de producción de energía eléctrica, conforme, y en un rango de tolerancia dado al perfil  $P_G$  de potencia.

Según un modo de implementación, el estado de carga  $SOC(t)$  del sistema de acumulación de energía debe respetar la restricción siguiente para cada instante  $t$  del periodo  $T$ :

$$0,05 \cdot C_{bat} \leq SOC(t) \leq 0,95 \cdot C_{bat}$$

20 Según un modo de implementación, la potencia  $P_{bat}$  consumida por el sistema (30) de acumulación de energía es mantenida entre una potencia  $P_{batmin}$  mínima y una potencia  $P_{batmax}$  máxima.

Según un modo de implementación, el estado de carga  $SOC(t)$  en cada instante  $t$  varía según una función lineal de la potencia  $P_{bat}$  consumida, de forma ventajosa, el estado de carga  $SOC(t)$  es tal que:

$$SOC(t) = SOC_0 + \alpha \cdot \sum_{\tau=t_0}^t P_{bat}^{\tau}$$

25 Siendo  $SOC_0$  el estado de carga en el instante  $t_0$ , siendo  $P_{bat}^{\tau}$  la potencia consumida por el sistema de acumulación en el instante  $\tau$ , y  $\alpha$  un parámetro fijo característico del sistema de acumulación de energía.

Según un modo de implementación, la pendiente en cualquier punto del perfil  $P_G$  de potencia está limitada por una pendiente  $dP_{G-}$  negativa y una pendiente  $dP_{G+}$  positiva.

30 Según un modo de implementación, el procedimiento comprende además la determinación del vector  $\theta$  de concepción, la determinación del vector de concepción que comprende:

a) una etapa de selección, en el periodo  $T_p$  pasado a partir de un instante  $t_0$ , de una previsión de producción del perfil  $P_{RP}$  de potencia, de al menos una fuente de energía renovable,

35 b) una etapa de cálculo, para la predicción de producción del perfil  $P_{RP}$  de potencia, de un número  $n$  entero, de perfiles  $P_{Ri}$  de potencia, con  $i$  que varía entre 1 y  $n$ , los perfiles  $P_{Ri}$  de potencia cada uno informa acerca de una incertidumbre de la que adolece la previsión  $P_{RP}$ .

c) una etapa de definición de un primer conjunto de  $m$  valores  $\theta_{1,l}$ , siendo  $l$  un número entero que varía entre 1 y  $m$ , y de un segundo conjunto de  $p$  valores  $\theta_{2,k}$ , siendo  $k$  un número entero que varía entre 1 y  $p$ .

40 d) una etapa de cálculo, para el periodo  $T_p$ , para cada uno de los  $m \cdot p$  pares de valores  $(\theta_{1,l}, \theta_{2,k})$ , variando  $l$  y  $k$  respectivamente entre 1 y  $m$ , y entre 1 y  $p$ , de un perfil  $P(t)_{l,k}$ , denominado  $P_{G,l,k}$  y que maximiza una función  $F_{l,k}$ :

$$F_{l,k} = \sum_{t=t_0}^{t_0+Tp} (P(t)_{l,k} - \rho \cdot ||SOC(t) - \theta_{1,l} \cdot C_{bat}||)$$

y  $P_{G,l,k}$  que respeta la restricción:

$$P_{G,l,k} \leq \theta_{2,k} \cdot P_R - P_{bat}$$

5 siendo  $\rho$  un factor de ponderación, y  $SOC(t)$  y  $C_{bat}$ , respectivamente, un estado de carga ajustable y una capacidad del sistema de acumulación de energía.

10 e) una etapa de simulación de implementación de un módulo en tiempo real, para cada perfil  $P_{G,l,k}$  de potencia determinado en la etapa d., y que considera que la fuente de energía renovable entrega un perfil  $P_{Ri}$  de potencia determinado en la etapa b), el módulo en tiempo real que está destinado a ajustar, en tiempo real, el estado de carga  $SOC(t)$  del sistema de acumulación de energía de manera que regula una potencia  $P_{E,l,k,i}$  efectivamente entregada por la central de producción de energía eléctrica, conforme al perfil  $P_{G,l,k}$  de potencia, la etapa de simulación que comprende del mismo modo el cálculo de  $m \cdot p$  diferencias  $S_{l,k,i}$  relativas, entre los perfiles  $P_{E,l,k,i}$  y  $P_{G,l,k}$  de potencia, un indicador  $I_{l,k,i}$  de rendimiento igual a cero que es atribuido a las diferencias  $S_{l,k,i}$  relativas, en el momento en que dicha diferencia sea inferior a una diferencia  $E_s$  umbral, el indicador  $I_{l,k,i}$  de rendimiento que es igual a uno en el caso contrario, la etapa e) es ejecutada por cada perfil  $P_{Ri}$  de potencia calculado en la etapa b),

15 f) una etapa de cálculo, para cada par de índice  $l$  y  $k$  de la suma  $I_{l,k} = \sum_{i=1}^n I_{l,k,i}$ , el vector  $\theta$  de concepción que comprende un par de componentes  $(\theta_1, \theta_2)$  seleccionados entre los pares de valores  $(\theta_{1,l}, \theta_{2,k})$  para la cual la suma  $I_{l,k}$  es inferior a un número  $q$  entero positivo predeterminado.

20 Según un modo de implementación, en el momento en que una pluralidad de pares  $(\theta_{1,l}, \theta_{2,k})$  es seleccionada en la etapa f) el procedimiento comprende además una etapa de selección suplementaria de un par  $(\theta_{1,l}, \theta_{2,k})$  entre la pluralidad de pares seleccionados, el par seleccionado durante la etapa suplementaria que es el par  $(\theta_{1,l}, \theta_{2,k})$  asociado al perfil  $P_{G,l,k}$  de potencia que presenta el área más importante.

Según un modo de implementación, el número  $n$  de perfiles  $R_{Ri}$  de potencia, es tal que:

$$n \geq \frac{1}{\eta} \left( \frac{e}{e-1} \right) \left( \ln \frac{m \cdot p}{\delta} + q \right)$$

25 siendo  $\eta$  un parámetro de precisión comprendido entre 0 y 1, de forma ventajosa inferior a 0,1,  $\delta$  un indicador de confianza comprendido entre 0 y 1 de forma ventajosa inferior a 0,1.

Según un modo de implementación, el primer conjunto de  $m$  valores  $\theta_{1,l}$  comprende el conjunto de valores  $\{0,3; 0,5; 0,7\}$ .

30 Según un modo de implementación, el segundo conjunto de  $p$  valores  $\theta_{2,k}$  comprende el conjunto de valores  $\{0,9; 0,95; 1; 1,05; 1,1\}$ .

### Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas aparecerán en la descripción siguiente de los modos de implementación del procedimiento de control de una central de producción de energía eléctrica, dados a título de ejemplos no limitativos, con referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

- 35 – la figura 1 es una representación esquemática de una central de producción de energía eléctrica destinada a ser controlada por el procedimiento según la invención,
- la figura 2 es un esquema de principio de implementación del procedimiento de determinación de un vector  $\theta$  de concepción asociado a una central de producción de energía eléctrica según la invención,
- 40 – la figura 3 es una representación gráfica de la potencia máxima (eje vertical) que una central de producción de electricidad controlada por el procedimiento de control según la invención puede esperar inyectar en la red de distribución en función del parámetro  $\theta_2$  (eje horizontal) para diferentes capacidades de fuente de acumulación de energía  $C_{bat}$ ,
- las figuras 4a-4d son representaciones gráficas en función de los tiempos (eje horizontal) de una comparación de la potencia efectivamente producida por la central de producción de electricidad, y de la previsión de perfiles de producción de potencia (líneas con puntos) para cuatro instantes de previsión diferentes, según la invención,
- 45

- la figura 5a es una representación gráfica de potencias  $P_{G1}$ ,  $P_{G2}$ ,  $P_{G3}$  declaradas y de la potencia  $P_E$  efectivamente entregada (eje vertical) en función de los tiempos (eje horizontal) por la central de producción de energía eléctrica controlada por el procedimiento de control según la presente invención,
- la figura 5b es una representación gráfica del estado de carga SOC del sistema de acumulación de energía (eje vertical) en función de los tiempos.

**Descripción detallada de modos de realización particulares**

La presente invención implementa un procedimiento de control de una centrales de producción de electricidad que comprende al menos una fuente de energía renovable y un sistema de acumulación de energía.

La invención está esencialmente basada en la idea de que los explotadores de central de producción de electricidad, y más en particular las centrales que comprenden fuentes de energía intermitente o renovable, deben poder comprometerse con un operador de red de distribución eléctrica, en un perfil de potencia que dicha central va a poder entregar a lo largo de un periodo temporal próximo. El perfil de potencia declarado debe, además, respetar las restricciones impuestas por el operador de red de distribución de electricidad. No respetar este compromiso puede estar sujeto a penalidades, por ejemplo penalidades financieras. Incumbe por tanto al explotador optimizar todo lo posible el control de la central de producción de electricidad para maximizar la potencia eléctrica inyectada a la red, a la vez respetando, en la medida de lo posible en un cierto rango de tolerancia, el compromiso del perfil de potencia.

A lo largo de toda la descripción, por número entero, se entiende un número entero positivo.

El procedimiento según la invención se refiere por tanto al control de una central 10 de producción de energía eléctrica representada en la figura 1.

La central 10 de producción de energía eléctrica comprende al menos una fuente 20 de energía renovable. La fuente 20 de energía renovable presenta un carácter intermitente, dicho de otra manera, puede estar sometida a ciertos riesgos como por ejemplo riesgos climáticos, que hacen de su producción de energía incierta, y por tanto poco previsible. La fuente 20 de energía renovable puede comprender al menos una de las fuentes elegidas entre: una fuente de energía fotovoltaica, una fuente de energía eólica.

La central 10 de producción de energía eléctrica comprende del mismo modo al menos un sistema 30 de acumulación de energía. El sistema de acumulación de energía puede comprender una batería, un supercondensador.

El procedimiento según la invención comprende una etapa de determinación, por un módulo 11 optimo, del perfil  $P_G$  de potencia a declarar.

Por perfil de potencia, se entiende una evolución de la potencia en función de los tiempos.

De forma más particular, el perfil  $P_G$  de potencia es un perfil de una potencia destinada a ser entregada, a lo largo de un periodo T temporal que comienza en un instante  $t_0$ , por la central 10 de producción de energía eléctrica.

El periodo temporales por ejemplo un periodo de veinticuatro horas o de cuarentaiocho horas. El instante  $t_0$  puede corresponder al inicio de una jornada.

La determinación del perfil  $P_G$  de potencia se ejecuta antes del instante  $t_0$ , por ejemplo veinticuatro horas antes del instante  $t_0$ . Por tanto una declaración del perfil  $P_G$  de potencia puede intervenir veinticuatro horas antes del instante  $t_0$ . Después de una primera declaración del perfil  $P_G$  de potencia el explotador de la central de producción de energía eléctrica puede ver ofrecer la posibilidad de corregir su declaración al alta como a la baja.

Según la invención, el perfil  $P_G$  de potencia es determinado con respecto a una previsión de producción del perfil  $P_R$  de potencia de al menos una fuente 20 de energía renovable, y corresponde, además, a un perfil  $P(t)$  de potencia que permite maximizar una función F objetivo de la forma:

$$F = \sum_{t=t_0}^{t_0+T} (P(t) - \rho \cdot \|SOC(t) - \theta_1 \cdot C_{bat}\|)$$

$P(t)$  es una potencia en un instante t del periodo T,  $SOC(t)$  un estado de carga, ajustable, del sistema 30 de acumulación de energía en un instante t del periodo T,  $\rho$  es un factor de ponderación, y  $C_{bat}$  es la capacidad del sistema 30 de acumulación de energía.

El perfil  $P_G$  de potencia está sometido a una restricción de la forma:

$$P_G \leq \theta_2 \cdot P_R - P_{bat}$$

donde  $P_{bat}$  es la potencia consumida por el sistema 30 de acumulación de energía.

Por potencia  $P_{bat}$  se entiende una potencia efectivamente consumida en el momento en que  $P_{bat}$  es positiva, y una potencia entregada por el sistema 30 de acumulación en el momento en que  $P_{bat}$  es negativa.

5 Las magnitudes  $\theta_1$  y  $\theta_2$  son componentes de un vector  $\theta$  de concepción.

El término  $\theta_1$  es un término de calibración del vector  $\theta$  de concepción destinado a dar una preferencia a un nivel de estado de carga SOC del sistema 30 de acumulación de energía. Se puede elegir de manera arbitraria en función de las especificaciones del sistema de acumulación de energía (por ejemplo,  $\theta_1 = 0,3$  tiende a favorecer un estado de carga del sistema de acumulación a un 30%).

10 El término  $\theta_2$  es un término de adaptabilidad de la amplitud del perfil  $P_G$  a declarar, que permite asegurar que la potencia  $P_G$  no sobrepase la previsión de producción de potencia  $P_R$  menos la potencia  $P_{bat}$  consumida por el sistema 30 de acumulación de energía. El término  $\theta_2$  puede ser elegido, por ejemplo, en función de una incertidumbre de la previsión de producción de potencia  $P_R$ . Dicha incertidumbre puede ser conocida, o simplemente estimada en función de una experiencia pasada.

15 Una determinación posible del vector de concepción que permite garantizar una tasa de inyección de la potencia efectivamente producida por la fuente 20 de energía renovable con un índice de confianza determinado por dicho término  $\theta_2$  será expuesta a continuación en la descripción de la invención.

20 El vector  $\theta$  de concepción corresponde a un estado de calibración del procedimiento de control de la central 10 de producción de energía eléctrica, y está destinado a tomar en cuenta el carácter incierto de la previsión de producción del perfil  $P_R$  de potencia de la al menos una fuente 20 de energía renovable. De hecho, la previsión de producción del perfil  $P_R$  de potencia se basa en general en previsiones meteorológicas, y presenta por consiguiente un grado de incertidumbre. Las componentes del vector  $\theta$  de concepción son ajustadas desde la disposición de la central 10 de producción de energía eléctrica de manera que garantiza una explotación de dicha central al máximo de su capacidad al mismo modo respetando las restricciones impuestas por el operador de la red 40 de distribución de electricidad.

La maximización de la función F objetivo se puede ejecutar mediante métodos numéricos conocidos para el experto en la técnica.

30 La determinación del perfil  $P_G$  es ejecutada de forma ventajosa con la ayuda de un calculador, por ejemplo un ordenador, de forma más particular un ordenador que controla el funcionamiento de la central 10 de producción de energía eléctrica.

Observamos de ahora en adelante que el perfil  $P_G$  de potencia se calcula para instantes discretos, por ejemplo, a intervalos de tiempo  $\Delta t$  regulares. Los intervalos de tiempo  $\Delta t$  pueden tomar al menos uno de los valores elegidos entre: 1 minuto, 5 minutos, 10 minutos; 15 minutos, 20 minutos, 30 minutos, 60 minutos.

35 De forma ventajosa, el procedimiento comprende además una etapa de regulación. Dicha etapa de regulación puede ser ejecutada por un módulo 12 en tiempo real. El módulo 12 en tiempo real está, por su parte, destinado a ajustar, en tiempo real (dicho de otra forma durante el periodo T) el estado de carga SOC(t) del sistema 30 de acumulación de energía de manera que regula una potencia  $P_E$  efectivamente entregada por la central 10 de producción de energía eléctrica, conforme, y en un rango de tolerancia dado, al perfil  $P_G$  de potencia.

40 De conformidad con el  $P_G$  de potencia en una gama de tolerancia dada, se entiende que el perfil  $P_E$  de potencia, efectivamente entregado, puede desviarse del perfil  $P_G$  de potencia más o menos un doce por ciento ( $\pm 12\%$ ), de forma ventajosa más o menos seis por ciento ( $\pm 6\%$ ).

Se pueden imponer otras restricciones por el operador de la red 40 de distribución de electricidad, o entre las restricciones técnicas de los elementos constitutivos de la red.

45 Por ejemplo, se pueden imponer un estado de carga mínimo, y un estado de carga máximo del sistema 30 de acumulación de energía. Por ejemplo, el estado de carga SOC(t), en cada instante t del periodo T, del sistema de acumulación de energía puede estar comprendido entre un 5% y un 95% de su capacidad  $C_{bat}$  de acumulación, es decir  $0,05 \cdot C_{bat} \leq SOC(t) \leq 0,95 \cdot C_{bat}$ .

50 Además, del mismo modo puede ser necesario imponer límites de potencia consumida por el sistema 30 de acumulación de energía, por ejemplo la potencia  $P_{bat}$  consumida por el sistema 30 de acumulación de energía en P es mantenida entre una potencia  $P_{batmin}$  mínima y una potencia  $P_{batmax}$  máxima.

La determinación del perfil  $P_G$  de potencia puede ser del mismo modo restringida por la ecuación de carga del sistema 30 de acumulación de energía. De hecho, la variación máxima del estado de carga SOC(t) es

proporcional a la potencia  $P_{bat}$  consumida por dicho sistema 30. Por tanto, el estado de carga  $SOC(t)$  del sistema 30 puede ser tal que:

$$SOC(t) = SOC_0 + \alpha \cdot \sum_{\tau=t_0}^t P_{bat}^{\tau}$$

5 donde  $SOC_0$  es el estado de carga en el instante  $t_0$ , siendo  $P_{bat}^{\tau}$  la potencia consumida por el sistema 30 de acumulación en el instante  $\tau$ , y  $\alpha$  un parámetro fijo característico del sistema 30 de acumulación de energía, pudiendo tomar dos valores diferentes según el sistema esté en fase de carga o de descarga.

10 El explotador puede del mismo modo imponer una restricción en la pendiente del perfil  $P_G$ . Se llama pendiente del perfil  $P_G$  a la diferencia entre dos valores sucesivos discretos calculados en la etapa de determinación, por un módulo 11 óptimo de un perfil  $P_G$  de potencia a declarar. La pendiente en cualquier punto del perfil  $P_G$  de potencia es limitada por una pendiente  $dP_{G-}$  negativa y una pendiente  $dP_{G+}$  positiva.

La invención se refiere del mismo modo a un procedimiento de determinación del vector de concepción de una central 10 de producción de energía eléctrica que comprende al menos una fuente 20 de energía renovable, al menos un sistema 30 de acumulación de energía.

15 Este procedimiento de determinación no es dado más que a título de ejemplo, y está destinado a proporcionar un vector de concepción optimizado con el fin de garantizar la tasa de inyección de la potencia efectivamente producida por la fuente 20 de energía renovable con un índice de confianza dado.

20 El procedimiento (ilustrado en la figura 2) de determinación del vector  $\theta$  de concepción comprende una etapa a) de selección, a lo largo de un periodo  $T_p$  pasado a partir del instante  $t_0$  de una previsión de producción del perfil  $P_{RP}$  de potencia de al menos una fuente 20 de energía renovable. La previsión puede, por ejemplo, estar basada en previsiones de parámetros (por ejemplo parámetros meteorológicos) que influyen en la producción de potencia de la fuente 20 de energía renovable.

El periodo  $T_p$  pasado es por ejemplo un día representativo del año. Varios periodos  $T_p$  pasados pueden ser considerados para tener en cuenta el carácter estacional de las predicciones.

25 El procedimiento de determinación del vector  $\theta$  de concepción comprende, del mismo modo, una etapa b) de cálculo, para la predicción pasada de producción de potencia  $P_{RP}$ , de un número  $n$  entero, de perfiles  $P_{Ri}$  de potencia, con  $i$  que varía de 1 a  $n$ , los perfiles  $P_{Ri}$  de potencia que cada uno informa de una incertidumbre que ha perjudicado a la previsión  $P_{RP}$ .

30 Los perfiles  $P_{Ri}$  de potencia pueden ser generados por un generador de incertidumbre. A título de ejemplo, el experto en la técnica encontrará en el documento [1], citado al final de la descripción, los elementos necesarios para la implantación de un generador de incertidumbre.

Los  $n$  perfiles  $P_{Ri}$  de potencia son representativos de las diferencias que pueden ocurrir con respecto a la predicción pasada de la producción  $P_{RP}$  de potencia.

35 El procedimiento de determinación del vector  $\theta$  de concepción comprende una etapa c. de definición de un primer conjunto de  $m$  valores  $\theta_{1,l}$ , siendo  $l$  un número entero que varía entre 1 y  $m$ , y de un segundo conjunto de  $p$  valores  $\theta_{2,k}$ , siendo  $k$  un número entero que varía entre 1 y  $p$ .

Por ejemplo, el primer conjunto  $m$  de valores  $\theta_{1,l}$  comprende el conjunto de valores  $\{0,3; 0,5; 0,7\}$ .

De manera equivalente, el segundo conjunto de  $p$  valores  $\theta_{2,k}$  comprende el conjunto de valores  $\{0,9; 0,95; 1; 1,05, 1,1\}$ .

40 El método de determinación del vector  $\theta$  de concepción comprende una etapa d) de cálculo, para el periodo  $T_p$ , para cada uno de los  $m \cdot p$  pares de valores  $(\theta_{1,l}, \theta_{2,k})$ , variando  $l$  y  $k$  respectivamente entre 1 y  $m$ , y entre 1 y  $p$ , de un perfil  $P(t)_{l,k}$ , de potencia denominado  $P_{G,l,k}$  y que maximiza una función  $F_{l,k}$ :

$$F_{l,k} = \sum_{t=t_0}^{t_0+T_p} (P(t)_{l,k} - \rho \cdot \|SOC(t) - \theta_{1,l} \cdot C_{bat}\|)$$

y  $P_{G,l,k}$  que respeta la restricción:

$$P_{G,l,k} \leq \theta_{2,k} \cdot P_R - P_{bat}$$

siendo  $\rho$  un factor de ponderación, y  $SOC(t)$  y  $C_{bat}$ , respectivamente, un estado de carga ajustable y una capacidad del sistema 30 de acumulación de energía.

5 La determinación de los perfiles  $P_{G,i,k}$  es ejecutada de forma ventajosa con la ayuda de un calculador como por ejemplo un ordenador, de forma más particular un ordenador que controla el funcionamiento de la central 10 de producción de energía eléctrica.

El procedimiento de determinación del vector  $\theta$  de concepción comprende una etapa e) de simulación de implementación de un módulo 12 en tiempo real, para cada perfil  $P_{G,i,k}$  de potencia determinado en la etapa d) y que considera que la fuente 20 de energía renovable entrega un perfil  $P_{Ri}$  de potencia determinado en la etapa b).

10 El módulo 12 en tiempo real está destinado a ajustar, en tiempo real, el estado de carga  $SOC(t)$  del sistema 30 de acumulación de energía de manera que regula una potencia  $P_{E,i,k,i}$  efectivamente entregada por la central 10 de producción de energía eléctrica, conforme al perfil  $P_{G,i,k}$  de potencia.

La etapa e) de simulación comprende del mismo modo el cálculo de  $m \cdot p$  diferencias  $S_{i,k,i}$  relativas, entre los perfiles  $P_{E,i,k,i}$  y  $P_{G,i,k}$  de potencia.

15 Para cada diferencia  $S_{i,k,i}$  relativa se calcula un indicador  $I_{i,k,i}$  de rendimiento. El indicador  $I_{i,k,i}$  de rendimiento es igual a cero en el momento en que la diferencia  $S_{i,k,i}$  relativa sea inferior a una diferencia umbral  $E_s$ , y el indicador  $I_{i,k,i}$  de rendimiento que es igual a uno en el caso contrario. La diferencia  $E_s$  umbral depende en general de las desviaciones en término de potencia que puede soportar la red de distribución eléctrica (la diferencia  $E_s$  umbral es por ejemplo igual a un 5%).

20 La etapa e) se ejecuta para cada perfil  $P_{Ri}$  de potencia calculado en la etapa b)

El procedimiento de determinación del vector  $\theta$  de concepción comprende una etapa f) de cálculo, para cada par de índice  $l$  y  $k$  de la suma  $I_{l,k} = \sum_{i=1}^n I_{l,k,i}$ ,

El vector  $\theta$  de concepción que comprende por tanto un par de componentes  $(\theta_1, \theta_2)$  seleccionados entre los pares de valores  $(\theta_{1,i}, \theta_{2,k})$  para lo cual la suma  $I_{l,k}$  es inferior a un número  $q$  entero positivo predeterminado.

25 Sin embargo, varios pares de valores  $(\theta_{1,i}, \theta_{2,k})$  pueden ser seleccionados como resultado de la etapa f).

También, en el momento en que una pluralidad de pares  $(\theta_{1,i}, \theta_{2,k})$  es seleccionada en la etapa f), el procedimiento comprende además una etapa de selección suplementaria de un par  $(\theta_{1,i}, \theta_{2,k})$  entre la pluralidad de pares seleccionados. El par seleccionado durante la etapa suplementaria es el par  $(\theta_{1,i}, \theta_{2,k})$  asociado al perfil  $P_{G,i,k}$  de potencia que presenta el área más importante. Dicho de otro modo, el par  $(\theta_{1,i}, \theta_{2,k})$  seleccionado es aquel que permite inyectar la cantidad más grande de potencia a la red 40 de distribución de electricidad.

30 De manera ventajosa, el o los pares de valores  $(\theta_{1,i}, \theta_{2,k})$  seleccionados en la etapa f. se corresponde a una suma  $I_{l,k}$  inferior a un número  $q$  entero (el número entero es del mismo modo denominado número de fallo).

35 También desde el momento en que esta condición no se realiza (ninguna de las sumas  $I_{l,k}$  es inferior a  $q$ ), conviene ejecutar de nuevo el método de determinación del vector  $\theta$  de concepción ajustando la etapa b). De forma más particular, se pueden imponer una condición al número  $n$  de perfiles  $P_{Ri}$  de potencia. Siempre de forma más particular, el número  $n$  entero debe respetar la desigualdad siguiente, relativa a algoritmos aleatorios ("Randomized Algorithms" según la terminología anglosajona):

$$n \geq \frac{1}{\eta} \left( \frac{e}{e-1} \right) \left( \ln \frac{m \cdot p}{\delta} + q \right)$$

40 siendo  $\eta$  un parámetro de precisión comprendido entre 0 y 1, de forma ventajosa inferior a 0,1,  $\delta$  un indicador de confianza comprendido entre 0 y 1 de forma ventajosa inferior a 0,1 y "e" el número exponencial.

El par de valores  $(\theta_{1,i}, \theta_{2,k})$  identificado anteriormente como  $(\theta_1, \theta_2)$  se implementa de forma ventajosa en el ámbito del procedimiento de control de una central 10 de producción de energía eléctrica.

45 El término  $\theta_1$  es un término de calibración del vector  $\theta$  de concepción destinado a dar una preferencia a un nivel de estado de carga  $SOC$  del sistema 30 de acumulación de energía. Por ejemplo,  $\theta_1 = 0,3$  tiende a favorecer un estado de carga del sistema de acumulación a un 30%.

50 El término  $\theta_2$  es un término de adaptabilidad de la amplitud del perfil  $P_G$  a declarar, permitiendo asegurar que la potencia  $P_G$  no sobrepase la previsión de producción de potencia  $P_R$  menos la potencia  $P_{bat}$  consumida por el sistema 30 de acumulación de energía. El término  $\theta_2$  es particularmente adaptado en el contexto de la inversión ya que permite parametrizar de manera opcional, y teniendo en cuenta el impacto de la incertidumbre de la producción de energía renovable (producida por la fuente de energía renovable), el procedimiento de control de



la central de producción eléctrica según la invención. De forma más particular, el término  $\theta_2$  permite garantizar una tasa de inyección de la potencia efectivamente producida por la fuente 20 de energía renovable con un índice de confianza determinado por dicho término  $\theta_2$ .

5 La figura 3 ilustra el efecto del parámetro  $\theta_2$  sobre la expectativa de suministro de potencia en función de la capacidad  $C_{bat}$  del sistema 30 de acumulación de energía.

Se observa claramente, para un sistema de acumulación de energía de capacidad  $C_{bat}$  de almacenamiento baja (por ejemplo 1 kWh), que puede ser favorable tener un parámetro  $\theta_2$  que sugiere un perfil  $P_G$  de potencia "superior" a la previsión de producción del perfil  $P_R$  de potencia. En el momento en que la capacidad de almacenamiento aumenta, se preferirán los valores más bajos de  $\theta_2$ .

10 El procedimiento de control de una central de producción eléctrica se ha incrementado en el ámbito de una simulación.

La central 10 considerada comprende por tanto una fuente de energía fotovoltaica y una batería endógena como sistema de acumulación de energía.

15 Los elementos principales de regulación (las restricciones) impuestas por el operador de la red 40 de distribución de electricidad son las siguientes:

- la potencia  $P_{nom}$  nominal de la central de producción de electricidad debe ser superior a 100kW,
- el explotador de la central debe declarar el perfil  $P_G$  de potencia 24 horas antes del instante  $t_0$ , (comienzo del periodo temporal T),
- las pendientes del perfil  $P_G$  son del mismo modo restricciones,

20 Se ofrece del mismo modo al explotador de la central declarar un nivel de perfil, en al menos tres ocasiones, por ejemplo, en las 4, 10 y 14 primeras horas de un periodo T de 24 las. Estas tres nuevas declaraciones son denominadas  $P_{G,6-24}$ ,  $P_{G,12-24}$ , y  $P_{G,16-24}$ .

25 En la figura 4a, la previsión de producción de potencia  $P_R$  de la figura 4a se determina el día anterior al período T y cubre un periodo de 24 horas. La previsión de producción de potencia  $P_{R,6-24}$  de la figura 4b es determinada en las 4 primeras horas del periodo T y cubre un período que tiene de la sexta a la vigésimo cuarta hora del periodo T, la previsión de producción de potencia  $P_{R,12-24}$  de la figura 4c es determinada en las 10 primeras horas del periodo T y cubre un periodo que tiene de la décimo segunda a la vigésimo cuarta hora del periodo T, la previsión de producción de potencia  $P_{R,16-24}$  de la figura 4d es determinada en las 12 primeras horas del periodo T y cubre un periodo que va desde la décimo sexta a la vigésimo cuarta hora del periodo T.

30 Para un periodo T dado, las previsiones de producción de potencia  $P_R$  por la fuente de energía fotovoltaicas son conocidas para mejorar desde el momento que se aproxima a dicho periodo T. Por tanto, estas nuevas previsiones permiten ajustar al máximo el perfil declarado. Este efecto es muy claramente observado en las figuras 4a-4d.

35 Las figuras 5a-5b representan del mismo modo la implementación de una simulación del procedimiento de control de la central de producción de electricidad según la presente invención.

La figura 5a representa los perfiles  $P_{G1}$  de potencia inicialmente declarada el día anterior a 16 horas, y  $P_{G2}$  declarada el mismo día a 4 horas al operador de la red 40 de distribución de electricidad. Una diferencia notable se observa entre los perfiles  $P_{G1}$ ,  $P_{G2}$  y el perfil  $P_E$ . El perfil  $P_{Gf}$  corresponde a un perfil en el cual el explotador de la central de producción se compromete finalmente con el operador de la red 40. Los perfiles  $P_E$  y  $P_{Gf}$  son relativamente similares (el controlador 12 en tiempo real mantiene la potencia  $P_E$  en el margen de tolerancia impuesta por el operador de la red simbolizado por las curvas de trazado discontinuo) con la excepción de un periodo alrededor del mediodía. Esta diferencia significativa alrededor del mediodía se corresponde del mismo modo a un estado de carga del sistema de acumulación de energía igual al límite inferior del estado de carga del sistema de acumulación (figura 5b). Este ejemplo muestra una vez más el interés de poder volver a declarar el perfil  $P_G$  durante el desarrollo del periodo T.

40 El procedimiento de control de una central de producción de electricidad permite por tanto garantizar con un índice de confianza determinado por un vector  $\theta$  de concepción, poder garantizar una inyección máxima de potencia en una red de distribución eléctrica. El vector  $\theta$  de concepción es por tanto determinado de manera que la probabilidad de sobrepasar una diferencia Es umbral entre los perfiles  $P_E$  y  $P_G$  sea superior a  $\eta$ . De forma más particular, el procedimiento de control según la invención permite al explotador de la central comprometerse a un perfil  $P_G$  de potencia sometido a restricciones impuestas por el operador de la red de distribución eléctrica. De hecho, la calibración del método para la obtención de un vector  $\theta$  de concepción, por un enfoque estocástico, permite tener en cuenta el carácter intermitente de las fuentes de energía renovable.

**Referencias**

[1] E.B. Iversen y otros, "Probabilistic forecasts of solar irradiance using stochastic differential equations", *Environmetrics*, 25(3), Mayo 2014, páginas 152-164.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de control de una central (10) de producción de energía eléctrica que comprende al menos una fuente (20) de energía renovable, al menos un sistema (30) de acumulación de energía, el procedimiento que comprende:

una etapa de determinación, por un módulo (11) óptimo, de un perfil  $P_G$  de potencia a declarar, el perfil  $P_G$  de potencia que es un perfil de potencia destinado a ser entregado a lo largo de un periodo  $T$  temporal, que comienza en un instante  $t_0$ , por la central (10) de producción de energía, el perfil  $P_G$  de potencia está determinado con respecto a una previsión de producción del perfil  $P_R$  de potencia de al menos una fuente (20) de energía renovable, y que corresponde a un perfil  $P(t)$  de potencia que permite maximizar una función  $F$  objetivo de la forma:

$$F = \sum_{t=t_0}^{t_0+T} (P(t) - \rho \cdot \|SOC(t) - \theta_1 \cdot C_{bat}\|)$$

Siendo  $P(t)$  una potencia en un instante del periodo  $T$ ,  $SOC(t)$  un estado de carga, ajustable, del sistema (30) de acumulación de energía en un instante  $t$  del periodo  $T$ ,  $\rho$  es un factor de ponderación, y  $C_{bat}$  que es la capacidad del sistema (30) de acumulación de energía,

el perfil  $P_G$  de potencia que está sometido a una restricción de la forma

$$P_G \leq \theta_2 \cdot P_R - P_{bat}$$

Siendo  $P_{bat}$  la potencia consumida por el sistema (30) de acumulación de energía,

las magnitudes  $\theta_1$  y  $\theta_2$  que corresponden a componentes de un vector  $\theta$  de concepción predeterminado.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el cual el procedimiento comprende además una etapa de regulación, ejecutada por un módulo (12) en tiempo real, destinado a ajustar, en tiempo real, el estado de carga  $SOC(t)$  de manera que regula una potencia  $P_E$  efectivamente entregada por la central (10) de producción de energía eléctrica, conforme, y en un rango de tolerancia lado, al perfil  $P_G$  de potencia.

3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, en el cual el estado de carga  $SOC(t)$  del sistema de acumulación de energía debe respetar la restricción siguiente para cada instante  $t$  del periodo  $T$ :

$$0,05 \cdot C_{bat} \leq SOC(t) \leq 0,95 \cdot C_{bat}$$

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la potencia  $P_{bat}$  consumida por el sistema (30) de acumulación de energía se mantiene entre una potencia  $P_{batmin}$  mínima y una potencia  $P_{batmax}$  máxima.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el estado de carga  $SOC(t)$  en cada instante  $t$  varía según una función lineal de la potencia  $P_{bat}$  consumida, de forma ventajosa, el estado de carga  $SOC(t)$  es tal que:

$$SOC(t) = SOC_0 + \alpha \cdot \sum_{\tau=t_0}^t P_{bat}^{\tau}$$

siendo  $SOC_0$  el estado de carga en el instante  $t_0$ , siendo  $P_{bat}^{\tau}$  la potencia consumida por el sistema (30) de acumulación en el instante  $\tau$ , y  $\alpha$  un parámetro fijo característico del sistema (30) de acumulación de energía.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la pendiente en cualquier punto del perfil  $P_G$  de potencia está limitada por una pendiente  $dP_{G-}$  negativa y una pendiente  $dP_{G+}$  positiva.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual el procedimiento comprende además la determinación del vector  $\theta$  de concepción, la determinación del vector de concepción que comprende:

a) una etapa de selección, en el periodo  $T_p$  pasado a partir de un instante  $t_0$ , de una previsión de producción del perfil  $P_G$  de potencia, de al menos una fuente (20) de energía renovable,

- b) una etapa de cálculo, para la predicción de producción del perfil  $P_G$  de potencia, de un número  $n$  entero, de perfiles  $P_{Ri}$  de potencia, con  $i$  que varía entre 1 y  $n$ , los perfiles  $P_{Ri}$  de potencia cada uno que informa acerca de una incertidumbre de la que adolece la previsión  $P_{RP}$ ,
- c) una etapa de definición de un primer conjunto de  $m$  valores  $\theta_{1,l}$ , siendo  $l$  un número entero que varía entre 1 y  $m$ , y de un segundo conjunto de  $p$  valores  $\theta_{2,k}$ , siendo  $k$  un número entero que varía entre 1 y  $p$
- d) una etapa de cálculo, para el periodo  $T_p$ , para cada uno de los  $m \cdot p$  pares de valores  $(\theta_{1,l}, \theta_{2,k})$ , variando  $l$  y  $k$  respectivamente entre 1 y  $m$ , y entre 1 y  $p$ , de un perfil  $P(t)_{l,k}$ , de potencia denominado  $P_{G,l,k}$  y que maximiza una función  $F_{l,k}$

$$F_{l,k} = \sum_{t=t_0}^{t_0+Tp} (P(t)_{l,k} - \rho \cdot \|SOC(t) - \theta_{1,l} \cdot C_{bat}\|)$$

10 y  $P_{G,l,k}$  que respeta la restricción:

$$P_{G,l,k} \leq \theta_{2,k} \cdot P_R - P_{bat}$$

siendo  $\rho$  un factor de ponderación, y siendo  $SOC(t)$  y  $C_{bat}$ , respectivamente, un estado de carga ajustable y la capacidad del sistema (30) de acumulación de energía.

- e) una etapa de simulación de implementación de un módulo (12) en tiempo real, para cada perfil  $P_{G,l,k}$  de potencia determinado en la etapa d) y que considera que la fuente (20) de energía renovable entrega un perfil  $R_{Ri}$  de potencia determinado en la etapa b), el módulo (12) en tiempo real que está destinado a ajustar, en tiempo real, el estado de carga  $SOC(t)$  del sistema (30) de acumulación de energía de manera que regula una potencia  $P_{E,l,k,i}$  efectivamente entregada por la central (10) de producción de energía eléctrica, conforme al perfil  $P_{G,l,k}$  de potencia, la etapa de simulación comprende del mismo modo el cálculo de  $m \cdot p$  diferencias  $S_{l,k,i}$  relativas, entre los perfiles  $P_{E,l,k,i}$  y  $P_{G,l,k}$  de potencia, un indicador  $I_{l,k,i}$  de rendimiento igual a cero que es atribuido a las diferencias  $S_{l,k,i}$  relativas, en el momento en que dicha diferencia sea inferior a una diferencia  $E_s$  umbral, el indicador  $I_{l,k,i}$  de rendimiento que es igual a uno en el caso contrario, la etapa e) que es ejecutada por cada perfil  $P_{Ri}$  de potencia calculado en la etapa b),
- f) una etapa de cálculo, para cada par de índice  $l$  y  $k$  de la suma  $I_{l,k} = \sum_{i=1}^n I_{l,k,i}$ , el vector  $\theta$  de confección que comprende un par de componentes  $(\theta_1, \theta_2)$  seleccionados entre los pares de valores  $(\theta_{1,l}, \theta_{2,k})$  para lo cual la suma  $I_{l,k}$  es inferior a un número  $q$  entero positivo predeterminado.

8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el cual desde el momento en el que la pluralidad de pares  $(\theta_{1,l}, \theta_{2,k})$  es seleccionada en la etapa f), el procedimiento comprende además una etapa de selección suplementaria de un par  $(\theta_{1,l}, \theta_{2,k})$  entre la pluralidad de pares seleccionados, el par seleccionado durante la etapa suplementaria que es el par  $(\theta_{1,l}, \theta_{2,k})$  asociado al perfil  $P_{G,l,k}$  de potencia que presenta el área más importante.

9. Procedimiento según las reivindicaciones 7 u 8, en el que el número  $n$  de perfiles  $P_{Ri}$  de potencia es tal que:

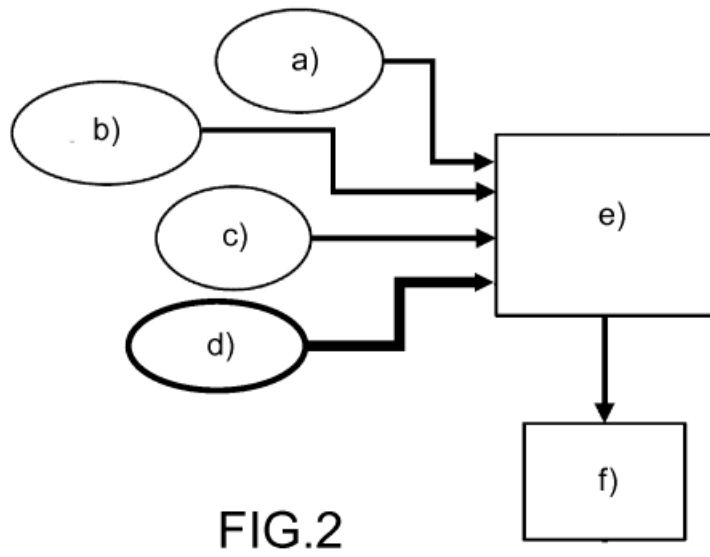
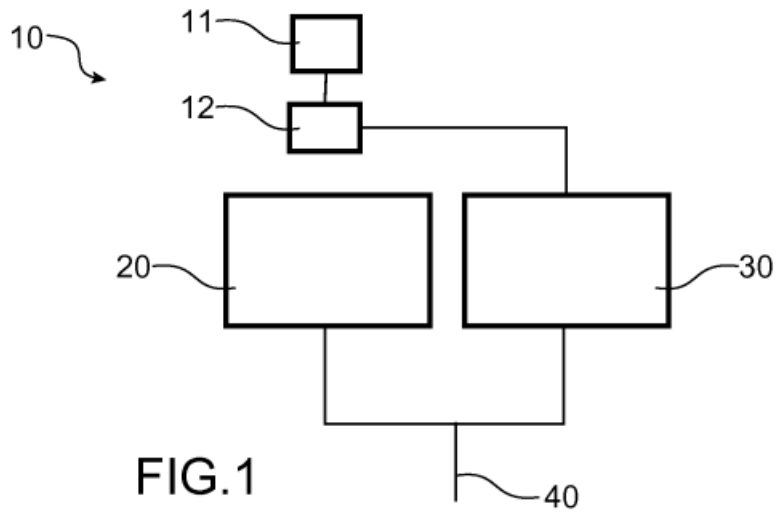
$$n \geq \frac{1}{\eta} \left( \frac{e}{e-1} \right) \left( \ln \frac{m \cdot p}{\delta} + q \right)$$

siendo  $\eta$  un parámetro de precisión comprendido entre 0 y 1, de forma ventajosa inferior a 0,1,  $\delta$  un indicador de confianza comprendido entre 0 y 1 de forma ventajosa inferior a 0,1.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 a 9, en el cual el primer conjunto de  $m$  valores  $\theta_{1,l}$  comprende el conjunto de valores  $\{0,3; 0,5; 0,7\}$ .

11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 a 10, en el cual el segundo conjunto de  $p$  valores  $\theta_{2,k}$  comprende el conjunto de valores  $\{0,9; 0,95; 1; 1,05; 1,1\}$ .

40



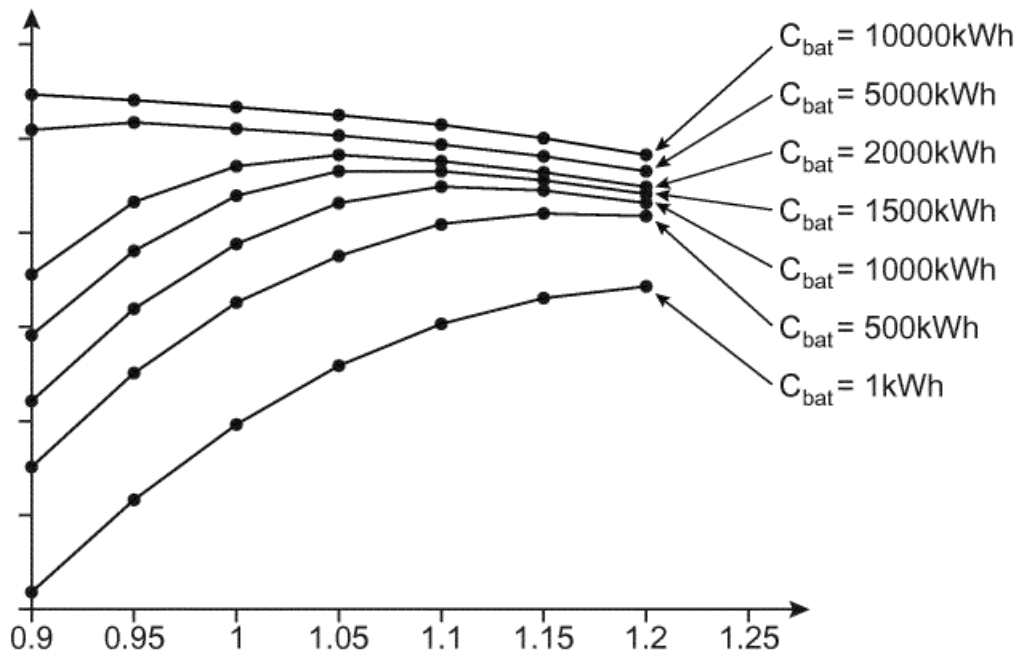


FIG.3

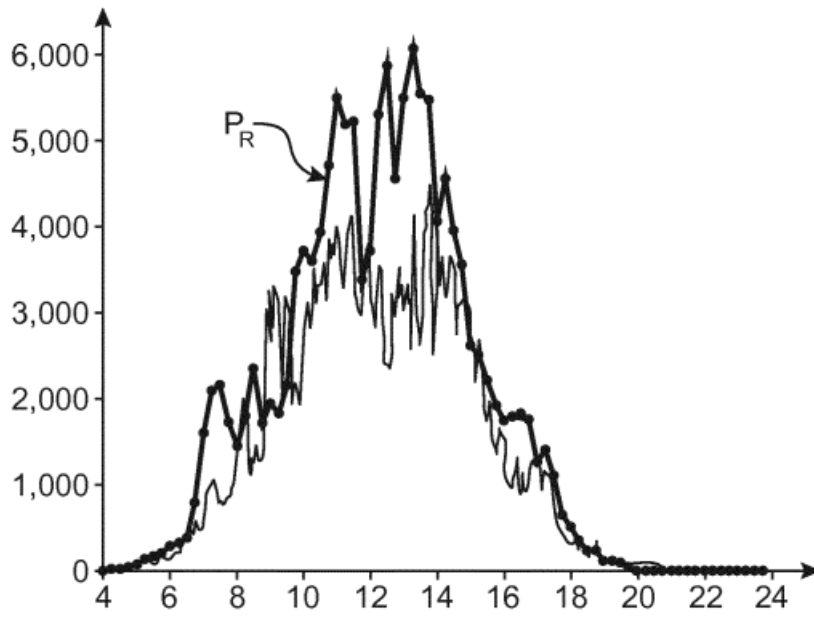


FIG.4a

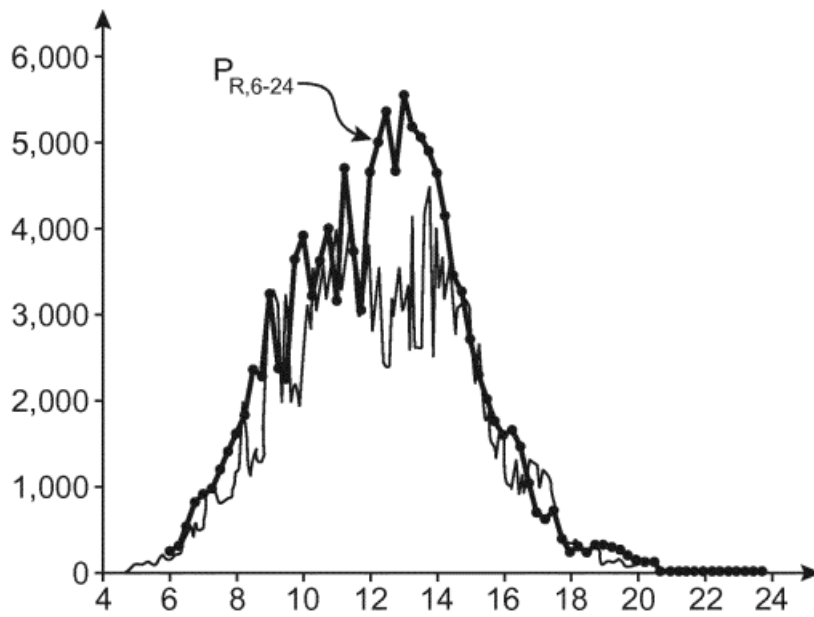


FIG.4b

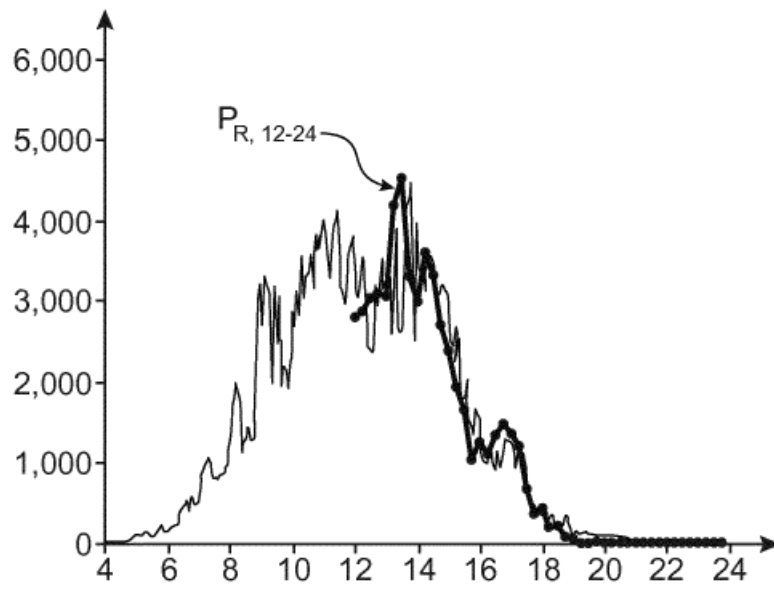


FIG.4c

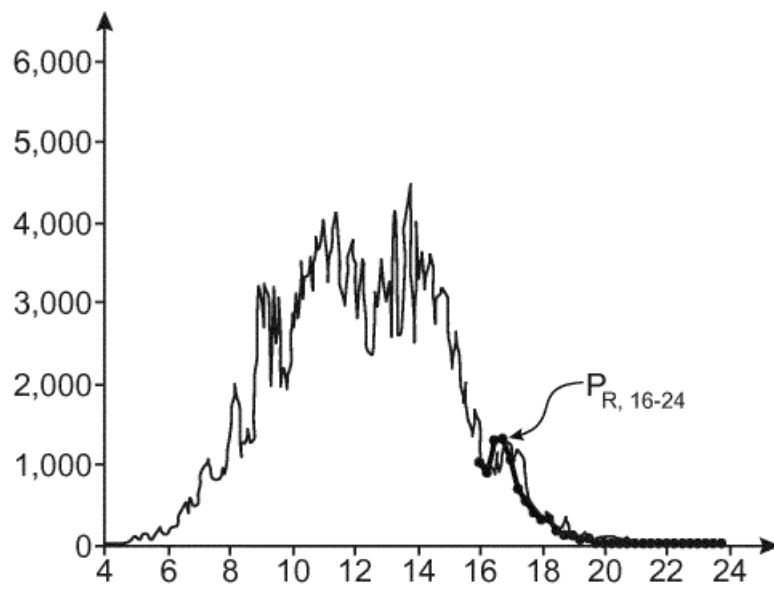


FIG.4d



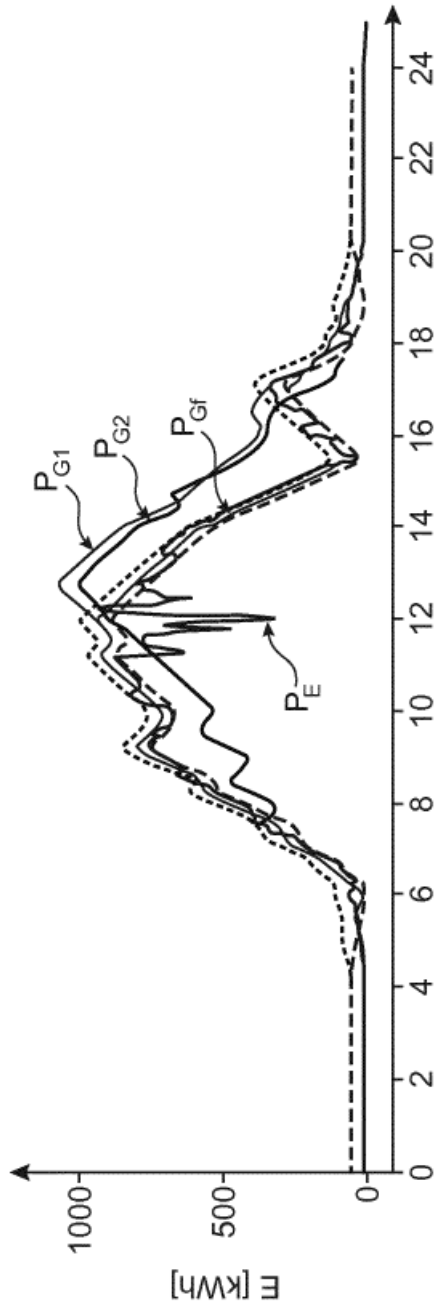


FIG. 5a

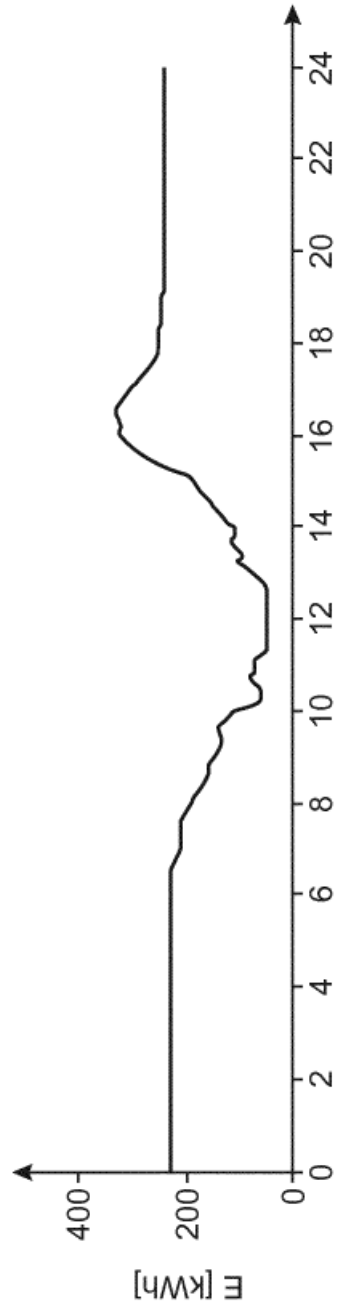


FIG. 5b