

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 637 941**

51 Int. Cl.:

G01R 31/36 (2006.01)

H02J 3/32 (2006.01)

H02J 7/00 (2006.01)

H02J 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.10.2013 PCT/EP2013/070924**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.04.2014 WO14056898**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.10.2013 E 13774157 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.05.2017 EP 2907212**

54 Título: **Central de pilotaje de una batería de almacenamiento de energía**

30 Prioridad:

09.10.2012 FR 1259624

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

18.10.2017

73 Titular/es:

**ELECTRICITÉ DE FRANCE (100.0%)
22-30 Avenue de Wagram
75008 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**KHARRAT, CHADY y
BEN-ABBES, ALA**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 637 941 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Central de pilotaje de una batería de almacenamiento de energía.

5 **Campo técnico general y contexto de la invención**

La presente invención se refiere al campo de la producción eléctrica, más precisamente a una central de pilotaje y al procedimiento asociado para controlar una batería de almacenamiento de energía destinada a acoplarse a una fuente de producción eléctrica intermitente para suministrar a una red de energía eléctrica una potencia eléctrica total lisa que se aproxima a una consigna de potencia total según un plan de producción anunciado por adelantado al operador de red.

Desde hace algunos años, la producción de energía por medio de fuentes de producción eléctrica intermitentes, tales como eólica, fotovoltaica, solar, etc., conoce un auge sin precedentes. Unas fuentes de producción eléctrica intermitentes de este tipo están reagrupadas generalmente en granjas, por ejemplo, en el caso de un campo de aerogeneradores o de un conjunto de paneles fotovoltaicos, y unidas a una red de energía eléctrica a la que suministran electricidad. En este documento, se designará como fuente de producción eléctrica intermitente tanto una fuente aislada como una granja de esta clase constituida por una pluralidad de fuentes, cuya conexión y gestión de su producción están centralizadas, en la medida en que la red de energía eléctrica no comprenda más que una central de producción eléctrica.

El carácter fatalmente aleatorio de estas fuentes de energía impone unas reglas particulares a su explotación, en particular el alisado y la garantía de su producción según un plan anunciado por adelantado al operador de la red eléctrica a la que están conectadas, a falta de lo cual, a pesar del beneficio económico que pueden generar, su integración a gran escala plantearía múltiples problemas.

En efecto, la producción de fuentes de producción eléctrica intermitentes está frecuentemente mal prevista y sus variaciones pueden conllevar grandes diferencias con respecto al plan de producción de referencia anunciado al operador de red. Cuando la potencia acumulada de estas producciones intermitentes se vuelve significativa, puede poner en peligro el equilibrio oferta-demanda del sistema eléctrico y desestabilizar la red, haciéndolas entonces poco atractivas para los operadores de esta red.

En estas circunstancias, la potencia generada por una fuente de producción eléctrica intermitente, ampliamente variable de un día a otro, puede padecer también fuertes fluctuaciones en el intervalo de una hora o de algunos minutos, debidas a las variaciones meteorológicas locales. Por ejemplo, una variación de la velocidad del viento conlleva una variación de la potencia eléctrica producida por un aerogenerador. Asimismo, la insolación influye directamente en la producción eléctrica de un panel fotovoltaico y el paso de una nube la perturba.

Se concibe fácilmente que si pueden anticiparse ciertas variaciones por medio de, por ejemplo, previsiones meteorológicas, ningún modelo puede prever por adelantado una variación local tal como el paso de una nube, fenómeno transitorio y muy local que tiene, sin embargo, fuertes repercusiones en la producción eléctrica de paneles fotovoltaicos.

Una solución potencial al problema de imprevisibilidad de la producción eléctrica es aportada por la utilización de medios de almacenamiento de energía acoplados a la fuente de producción intermitente. Estos medios de almacenamiento contribuyen a la vez a una gestión inteligente de la energía producida y a una mejora de la calidad del abastecimiento. Al permitir el almacenamiento de energías, se permiten particularmente diversas aplicaciones como el alisado de la producción, el arbitraje de la energía, la participación en los servicios de los sistemas, la transferencia de carga, el alivio de las tensiones sobre la red de distribución eléctrica, etc.

Actualmente, existen varios tipos de almacenamiento de energía: electrostática (capacidades), electromagnética (supraconductores), electroquímica (baterías y supercapacidades), gravitatoria (almacenamientos hidráulicos), inercial (volante de inercia), neumática o incluso térmica.

Entre estas diferentes tecnologías, el almacenamiento por batería presenta actualmente unas ventajas principales de rapidez de respuesta y de maniobrabilidad, ofreciendo más flexibilidad y estabilidad al pilotaje de la instalación de producción constituida por la fuente de producción eléctrica intermitente y la batería de almacenamiento que le está asociada, así como una potencia y una duración de vida relativamente elevadas. Se denominará en la continuación de la descripción batería de almacenamiento de energía a una o varias baterías individuales unidas una con otra de modo que sean controladas conjuntamente para que constituyan únicamente una batería de almacenamiento con vistas a su utilización.

La batería de almacenamiento se utiliza para almacenar la energía producida por la fuente de producción eléctrica intermitente y restituirla a la red en función de las necesidades. La buena gestión de estas fases de carga y de descarga de la batería permite absorber las variaciones de producción eléctrica. Permite asimismo adaptar mejor la potencia suministrada a la red en la medida en que la producción eléctrica de una fuente de

producción eléctrica intermitente no es fácilmente adaptable. La utilización de una batería de almacenamiento puede contribuir así a mejorar la predictibilidad del suministro y a estabilizar la producción eléctrica.

5 Para un medio de almacenamiento de energía tal como una batería, la capacidad para absorber las diferencias de producción depende fuertemente de su dimensionamiento y necesita frecuentemente grandes capacidades. Es entonces tentador preconizar la utilización de baterías que presenten grandes capacidades de almacenamiento de energía. La mayor parte de las técnicas de pilotaje presentes en el estado de la técnica suponen así importantes capacidades de almacenamiento.

10 No obstante, en la medida en que el coste de explotación de una batería está estrechamente ligado a su dimensionamiento, un aumento de la capacidad requerida de una batería puede incrementar considerablemente el coste del sistema, haciéndolo entonces económicamente poco rentable.

15 Un medio de eludir el problema de dimensionamiento es planificar mejor la trayectoria del estado de carga de la batería en función de las incertidumbres de previsiones. Esto se puede realizar por medio de los algoritmos de optimización estocástica.

20 Se considera que estos procedimientos del estado de la técnica permiten evitar el agotamiento de la batería, es decir, su descarga completa, así como la saturación de la batería, es decir, el rebasamiento de su capacidad de almacenamiento. Estas dos situaciones dejan transmitir las fluctuaciones de la producción de la instalación directamente a la red de energía eléctrica a la que se suministra la energía y, en el caso de la saturación, una pérdida de energía no almacenable deteriora el rendimiento de la instalación constituida por la fuente de producción intermitente y la batería de almacenamiento.

25 El inconveniente de estos procedimientos estocásticos de gestión reside en la subutilización de la capacidad de almacenamiento en disponibilidad. Se considera también el caso de procedimientos de control predictivo que garantizan un compromiso entre la regulación del estado de carga a una consigna fija y el alisado de la producción de la instalación de producción.

30 Algunas otras aplicaciones recurren a baterías de almacenamiento de energía que no están acopladas a una central de producción eléctrica intermitente para suministrar a una red de energía eléctrica una potencia eléctrica total según un plan de producción, sino que son utilizadas por un consumidor de energía eléctrica para optimizar su consumo de electricidad que le suministra la red eléctrica, en particular en función de parámetros tales como la variación horaria del precio de la electricidad.

35 Por ejemplo, los documentos US 2012/074909 y US 2012/249078 presentan unos sistemas de este tipo, en los que la carga o la descarga de una batería es controlada en función de criterios tales como el precio de la electricidad o su impacto ecológico. Se debe observar que la batería se carga y se descarga entonces a potencia constante máxima, en un intervalo autorizado que pretende maximizar la esperanza de vida de la batería.

40 No obstante, dichos sistemas no pueden responder a la exigencia de alisado de una producción eléctrica intermitente ni a la garantía de la potencia eléctrica suministrada al punto de conexión a la red eléctrica. Por tanto, no se pueden realizar de forma satisfactoria en el marco de una central de producción eléctrica intermitente destinada a suministrar a una red eléctrica una potencia total según un plan de producción anunciado al operador de la red.

Presentación de la invención

50 La invención presenta a continuación una alternativa a estos procedimientos que no son completamente satisfactorios, que sea a la vez simple de realizar, poco costosa y que permita una buena regulación de la producción eléctrica sin necesitar grandes capacidades de almacenamiento de energía con el fin de permitir que una central de producción de energía intermitente suministre a una red de energía eléctrica una potencia eléctrica total lisa que se aproxima a una consigna según un plan de producción anunciado por adelantado al operador de la red.

55 La invención propone con este fin una central de pilotaje de una batería de almacenamiento de energía destinada a acoplarse a una fuente de producción eléctrica intermitente para suministrar a una red de energía eléctrica una potencia eléctrica total que se aproxima a una consigna de potencia total según un plan de producción anunciado por adelantado al operador de la red. La central de pilotaje está adaptada para determinar una trayectoria de referencia del estado de carga de la batería a partir de una modelización de la batería y de una consigna optimizada de potencia de batería, determinándose dicha consigna optimizada de potencia de batería a partir de la consigna de potencia total, y para realizar una regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga de la batería para imponer el seguimiento por el estado de carga de la trayectoria de referencia del estado de carga de la batería.

65 La regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga de la batería, activada en caso de fuerte

deriva del estado de carga de la batería, permite ajustar la respuesta dinámica de la instalación de producción anticipando las saturaciones o los agotamientos de la batería manteniendo al mismo tiempo el alisado de la producción total de la instalación.

5 La invención se completa ventajosamente por las diferentes características siguientes consideradas solas o según sus diferentes combinaciones posibles:

- 10 - la central está adaptada para que la potencia eléctrica total suministrada a la red se aproxime lo mejor posible a la consigna de potencia total evitando al mismo tiempo la deriva del estado de carga de la batería;
- 15 - la central de pilotaje está adaptada para que la regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de la carga sea realizada en caso de deriva del estado de carga de la batería con respecto a la trayectoria de referencia del estado de carga;
- 20 - la central de pilotaje está adaptada para que la deriva del estado de carga corresponda al rebasamiento de una banda muerta definida alrededor de una trayectoria de referencia del estado de carga de la batería;
- 25 - la central de pilotaje comprende unos medios de limitación de la regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga a los únicos seguimientos de la trayectoria de referencia del estado de carga de la batería que alejan el estado de carga de los límites de la batería;
- 30 - la regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga toma a la entrada la trayectoria de referencia del estado de carga y el estado de carga de la batería para proporcionar a la salida una consigna de potencia de batería en bucle cerrado;
- 35 - dicha central de pilotaje controla la batería por medio de una orden instantánea de potencia determinada a partir:
 - de una consigna de potencia de batería en bucle cerrado a la salida del bucle de regulación, y
 - de una consigna de potencia de batería en bucle abierto correspondiente a la diferencia entre la consigna de producción total y la producción instantánea de la fuente de producción eléctrica intermitente;
- 40 - la consigna de potencia total sigue una trayectoria y el paso de la regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga es inferior en por lo menos un factor cien con respecto al paso de la trayectoria seguida por la consigna de potencia total.

45 La invención se refiere asimismo a una instalación de producción eléctrica que comprende una batería de almacenamiento de energía destinada a acoplarse a una fuente de producción eléctrica intermitente para suministrar a una red de energía eléctrica una potencia eléctrica total que se aproxima a una consigna de potencia total según un plan de producción anunciado por adelantado al operador de la red, comprendiendo dicha instalación una central de pilotaje según la invención. Preferentemente, la instalación comprende además una fuente de producción eléctrica intermitente.

50 La invención se refiere también a un procedimiento de pilotaje de una batería de almacenamiento de energía destinada a acoplarse a una fuente de producción eléctrica intermitente para suministrar a una red de energía eléctrica una potencia eléctrica total que se aproxima a una consigna de potencia total según un plan de producción anunciado por adelantado al operador de la red, en el que una trayectoria de referencia del estado de carga de la batería se determina a partir de una modelización de la batería y de una consigna optimizada de potencia de batería, determinándose dicha consigna optimizada de potencia de batería a partir de la consigna de potencia total, y una regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga se realiza para imponer el seguimiento por el estado de carga de la trayectoria de referencia del estado de carga de la batería.

55 El procedimiento según la invención es completado ventajosamente por las diferentes características siguientes consideradas solas o según sus diferentes combinaciones posibles:

- 60 - la regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga se realiza en caso de deriva del estado de carga de la batería con respecto a un valor de referencia del estado de carga;
- 65 - la deriva del estado de carga corresponde al rebasamiento de una banda muerta definida alrededor de un valor de referencia de estado de carga de la batería;
- la regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga está limitada a los únicos

seguimientos de la trayectoria de referencia del estado de carga de la batería que alejan el estado de carga de los límites de la batería.

5 La invención se refiere asimismo a un producto de programa de ordenador que comprende unas instrucciones de código de programa para la ejecución de las etapas del procedimiento según la invención cuando dicho programa es ejecutado en un ordenador. Preferentemente, este producto de programa de ordenador adopta la forma de un soporte legible por ordenador en el que están almacenadas dichas instrucciones de código de programa.

10 **Presentación de las figuras**

Otras características, objetivos y ventajas de la invención se desprenderán de la descripción siguiente, que es puramente ilustrativa y no limitativa y que se debe leer con respecto a los dibujos adjuntos, en los que:

- 15 - la figura 1 es un esquema de principio que ilustra una central de pilotaje asociada a su batería de acuerdo con un modo de realización posible de la invención;
- la figura 2 es un esquema de principio que ilustra el bucle de regulación que interviene en el sistema de la figura 1.

20 **Descripción detallada**

Con referencia a la figura 1, la instalación de producción eléctrica comprende una central de pilotaje 1 que controla la potencia eléctrica de carga/descarga de una batería de almacenamiento 2 por medio de una orden instantánea de potencia $P_{batt}(t)$, variable en el tiempo. La batería de almacenamiento 2 está acoplada a una fuente de producción eléctrica intermitente para suministrar a una red de energía eléctrica una potencia eléctrica total que se aproxima a una consigna de potencia total $Prod(T)$ según un plan de producción anunciado por adelantado al operador de la red.

30 La central de pilotaje 1 recibe de un optimizador 3 un plan de producción total constituido por una secuencia de consigna óptima de producción total $Prod(T)$, variable en el tiempo, con un paso denominado infradiario T de una duración típica de 30 minutos. Este plan de producción total se establece por medio de previsiones de producción, por ejemplo a partir de datos meteorológicos así como de otros factores, tales como el plan de carga del gestor de red, o la anticipación de la demanda de potencia sobre la red. El plan de producción total corresponde a la producción eléctrica total de la instalación de producción compuesta por la producción eléctrica de la fuente intermitente y por la potencia suministrada por la batería 2. Una instalación ideal debería seguir lo más cerca posible el plan de producción total.

40 La central de pilotaje 1 recibe una medición instantánea de la producción real de la fuente intermitente $Prod_f(t)$ y adapta, en función de ésta, la potencia a suministrar o a consumir por la batería 2 para garantizar el seguimiento del plan de producción total definido por el optimizador 3.

45 En efecto, los errores de previsión, las perturbaciones meteorológicas imprevistas y las fluctuaciones naturales de la producción de la fuente intermitente conducen a una diferencia entre la producción eléctrica instantánea $Prod_f(t)$ de la fuente intermitente y la consigna óptima de potencia total $Prod(T)$ que debe ser proporcionada a la red eléctrica, que debe ser compensada por la batería 2, o bien mediante el almacenamiento de la energía producida en exceso, o bien mediante la restitución de energía almacenada en la batería 2. Así, la central de pilotaje 1 calcula una consigna de potencia de batería en bucle abierto $P_{batt_BO}(t)$, variable en el tiempo, que sirve para determinar una orden instantánea de potencia de batería $P_{batt}(t)$, variable en el tiempo, con el fin de controlar la batería 2.

50 La consigna de potencia de batería en bucle abierto $P_{batt_BO}(t)$ correspondiente a la orden de potencia demandada a la batería 2 es calculada así en bucle abierto cada instante t por $P_{batt_BO}(t) = Prod(T) - Prod_f(t)$.

55 No obstante, la única orden en bucle abierto de la potencia de la batería puede conducir al agotamiento o a la saturación de la batería en caso de una diferencia demasiado importante y/o demasiado prolongada entre la producción eléctrica instantánea $Prod_f(t)$ de la fuente intermitente y la consigna óptima de producción total $Prod(T)$.

60 Con el fin de sacar el mejor partido de la batería, el optimizador 3 determina asimismo una consigna optimizada de potencia de batería $P_{batt}(T)$, variable en el tiempo, que se proporciona a la central de pilotaje 1. La consigna optimizada de potencia de batería $P_{batt}(T)$ corresponde a un plan de almacenamiento de energía que es determinado por el optimizador 3 para el control de la batería 2 con el fin de permitir responder lo mejor posible al plan de producción total, teniendo en cuenta las variaciones anticipadas de la producción de la fuente intermitente, que la batería 2 debe compensar.

Por ejemplo, se puede prever que la producción de la fuente intermitente no será suficiente para asegurar la producción eléctrica requerida durante un periodo dado, el plan de almacenamiento de energía puede entonces prever un almacenamiento preventivo de energía anteriormente a este periodo dado con el fin de disponer, durante dicho periodo dado, de suficiente energía para permitir el seguimiento del plan de producción total.

5

La central de pilotaje 1 tiene como papel asegurar durante cada paso infradiario T el seguimiento instantáneo de la consigna óptima de potencia total Prod(T). En un caso ideal, la producción suministrada por la fuente de producción intermitente en tiempo real es igual a su previsión y el seguimiento de la consigna óptima de potencia total Prod(T) está garantizado por la simple aplicación de la consigna optimizada de potencia de batería Pbatt(T) calculada a su vez por el optimizador 3.

10

No obstante, en este caso, unos errores de previsión, las perturbaciones meteorológicas imprevistas y las fluctuaciones naturales de la producción de la fuente intermitente pueden conducir a unas diferencias muy grandes entre la producción eléctrica de la fuente intermitente y el plan de producción, que resultan en agotamientos o saturaciones de la batería de almacenamiento 2. En este caso, dado que la batería 2 no puede absorber las fluctuaciones de la producción eléctrica, éstas son directamente transmitidas a la red.

15

Para evitar estas situaciones, la central de pilotaje 1 comprende un módulo de mantenimiento de carga MdC 4 acoplado a una modelización de la batería 5, operando los dos en tiempo real a una frecuencia fija y estando integrados en la cadena de optimización clásica de las consignas de la batería, es decir, el optimizador 3.

20

El objetivo principal es compensar los errores de previsiones y las fluctuaciones de producción vigilando y controlando al mismo tiempo el estado de carga de la batería 2 con objetivo de evitar lo mejor posible los agotamientos y las saturaciones que conducen a la invalidez de la batería 2, es decir, a su no disponibilidad debido a una falta o a una saturación de energía almacenada.

25

La central de pilotaje 1 está adaptada para determinar una trayectoria de referencia del estado de carga de la batería SOC_ref(t) a partir de una modelización de la batería 5 y de una consigna optimizada de potencia de batería Pbatt(T), estando dicha consigna optimizada de potencia de batería Pbatt(T) determinada a partir de la consigna de potencia total Prod(T).

30

La modelización de la batería 5 traduce la relación y las tensiones entre la potencia demandada a la batería 2 (en carga o en descarga) y la carga que ésta debe presentar para responder a ello. La modelización de la batería 5 toma a la entrada la consigna optimizada de potencia de batería Pbatt(T) y proporciona a la salida una trayectoria de referencia del estado de carga SOC_ref(t).

35

La trayectoria de referencia del estado de carga SOC_ref(t) de la batería 2 es un seguimiento temporal de valores de referencia de dicho estado de carga SOC(t). Esta trayectoria de referencia del estado de carga SOC_ref(t) representa la evolución de la carga de batería que se debe seguir para que la batería 2 esté en condiciones de responder a las solicitudes de potencia del seguimiento de la consigna optimizada de potencia de batería Pbatt(T).

40

Desde el punto de vista del estado de carga de la batería 2, la consigna de potencia de batería en bucle abierto Pbatt_BO(t), diferente de la consigna optimizada de potencia de batería Pbatt(T), es percibida como una perturbación que resulta en una desviación del estado de carga SOC(t) con respecto a su trayectoria de referencia del estado de carga SOC_ref(t). Esta última es calculada por un modelo simplificado de la batería en función de la producción prevista Pbatt(T) para el paso infradiario T en curso:

45

$$SOC_ref(t) = SOC_ref(t - 1) + Te \left(\frac{1}{\eta_{dech}} Pbatt^+(T) + \eta_{ch} \cdot Pbatt^-(T) \right)$$

50 con

$$Pbatt^+(T) = \begin{cases} Pbatt(T) & \text{si } Pbatt(T) > 0 \\ 0 & \text{si } Pbatt(T) \leq 0 \end{cases}$$

y

$$Pbatt^-(T) = \begin{cases} Pbatt(T) & \text{si } Pbatt(T) < 0 \\ 0 & \text{si } Pbatt(T) \geq 0 \end{cases}$$

55

en las que η_{ch} y η_{dech} son respectivamente el rendimiento de carga y de descarga de la batería 2 y Te es el paso de muestreo de la modelización de la batería 5. La modelización de la batería 5 es un modelo simplificado dado a título puramente ilustrativo, pudiendo estar previstos unos modelos más complejos y más fiables de batería, en los que la trayectoria de referencia del estado de carga SOC_ref(t) a la salida no está expresada linealmente en función de la potencia de carga o de descarga.

No obstante, la compensación de las diferencias de producción de la fuente de producción con respecto a su previsión puede generar desviaciones del estado de carga SOC(t) con respecto a su trayectoria optimizada SOC_ref(t) que, al acumularse, pueden llevar el estado de carga SOC(t) hacia sus límites de agotamiento o de saturación de la batería 2. En tales casos, dado que ya no se puede cargar o descargar la batería 2, las fluctuaciones de la producción de la fuente intermitente serán transmitidas directamente a la red eléctrica.

Con el fin de evitar estas situaciones, la central de pilotaje 1 está adaptada para realizar una regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga SOC(t) para imponer el seguimiento de la trayectoria de referencia del estado de carga de la batería SOC_ref(t). Esta regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga SOC(t) se realiza en caso de deriva del estado de carga de la batería con respecto a la trayectoria de referencia del estado de carga de la batería SOC_ref(t), correspondiendo la deriva del estado de carga al rebasamiento de una banda muerta definida alrededor de un valor de referencia de estado de carga SOC(t) de la batería 2.

La central de pilotaje está adaptada para que la potencia eléctrica total suministrada a la red se aproxime lo mejor posible a la consigna de potencia total Prod(T) evitando al mismo tiempo la deriva del estado de carga SOC(t) de la batería.

En efecto, una desviación del estado de carga SOC(t) de la batería 2 con respecto a su referencia, tolerada para unos niveles de carga medios, se vuelve problemática para niveles próximos a los límites de almacenamiento de la batería 2, pudiendo conducir al agotamiento o a la saturación de la batería 2. En estas circunstancias, tal situación se traduce en la transmisión de las fluctuaciones de la fuente de producción intermitente sobre la red eléctrica, siendo entonces la batería 2 incapaz de compensarlas.

Por lo cual, la regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga SOC(t) se activa en caso del rebasamiento por el estado de carga SOC(t) de una banda muerta definida alrededor de un valor de referencia de estado de carga SOC(t) de la batería 2. Este valor de referencia es preferentemente su valor medio y la banda muerta está definida con histéresis alrededor de este valor medio definido por:

$$SOC_moy = \frac{SOC_sup + SOC_inf}{2}$$

donde SOC_sup y SOC_inf son respectivamente los límites superior e inferior del estado de carga SOC(t).

Preferentemente, los límites superior e inferior del estado de carga se actualizan en función de un histórico del estado de carga SOC(t) con el fin de tener en cuenta las variaciones de los límites físicos de almacenamiento de la batería 2.

Esta regulación por subordinación en bucle cerrado se encarga de regular el estado de carga SOC(t) para seguir la trayectoria de referencia SOC_ref(T) corrigiendo dinámicamente la orden de potencia instantánea Pbatt(t) a cargar o a descargar por la batería 2. Para un estado de carga bajo (respectivamente alto), se toleran las diferencias positivas (respectivamente negativas) entre el estado de carga SOC(t) medido y su trayectoria de referencia SOC_ref(T), y sólo se compensan las diferencias negativas (respectivamente positivas). Se evitan entonces los agotamientos y las saturaciones forzando el seguimiento de la trayectoria de referencia del estado de carga SOC_ref(t) determinada por medio de la modelización de la batería 5 y las consignas enviadas por los optimizadores.

Esto se realiza por medio de una respuesta transitoria de la batería 2 cuyo comportamiento dinámico (tiempo de respuesta, rebasamiento, diferencia en régimen permanente, etc.) es controlado por los parámetros de configuración ajustables. Esta regulación en tiempo real funciona en un paso de muestreo del orden del segundo (entre 1 y 10 segundos), fijado en función de la frecuencia de adquisición y de tratamiento de las mediciones.

Por el contrario, la consigna de potencia total Prod(T) y la consigna optimizada de potencia de batería Pbatt(T) tienen un paso de muestreo bastante más largo, por lo menos en un factor diez o cien. Típicamente, este paso de muestreo es por lo menos de 30 minutos. En efecto, estas consignas resultan de mecanismos de optimización diaria e infradiaria, pero no son instantáneas. Se designa así con T los instantes correspondientes a escalones de muestreo por lo menos infradiario, y con t los instantes correspondientes a escalones de muestreo instantáneos del orden de 1 a 10 segundos.

Así, la consigna de potencia total Prod(T) sigue una trayectoria, y el paso de la regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga es inferior en por lo menos un factor cien con respecto al paso de la trayectoria seguida por la consigna de potencia total Prod(T).

La figura 2 ilustra un modo de realización posible de la regulación realizada en el módulo de mantenimiento de carga 4. Una medición instantánea del estado de carga SOC(t) de la batería 2 es adquirida o proporcionada al

módulo de mantenimiento de carga 4.

El estado de carga SOC(t) es comparado con la trayectoria de referencia del estado de carga SOC_ref(t) según:

$$\varepsilon = \text{SOC_ref}(t) - \text{SOC}(t)$$

5

La diferencia ε que resulta de ello se tiene cuenta únicamente en función del nivel del estado de carga SOC(t) con respecto a un nivel medio encuadrado por una banda muerta.

10 La central de pilotaje 1 realiza así un tratamiento diferente para un seguimiento de trayectoria de referencia del estado de carga de la batería SOC_ref(t) que aleja el estado de carga SOC(t) de los límites de la batería 2, y para un seguimiento de trayectoria de referencia del estado de carga de la batería SOC_ref(t) que se acerca al estado de carga SOC(t) de los límites de la batería 2. En el primer caso, se realiza la regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga SOC(t), mientras que, en el segundo caso, no se realiza la
15 regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga.

En el modo de realización ilustrado, la diferencia ε entre la trayectoria de referencia de estado de carga SOC_ref(t) y el estado de carga SOC(t) es proporcionada a dos dispositivos de umbral 6, 7 que transmiten únicamente las diferencias ε negativas o positivas, respectivamente. Estos dos dispositivos de umbral 6, 7
20 constituyen unos medios de limitación de la regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga SOC(t) a los únicos seguimientos de la trayectoria de referencia del estado de carga de la batería SOC_ref(t) que alejan el estado de carga SOC(t) de los límites de la batería.

Un conmutador 8 efectúa la conmutación entre los dispositivos de umbral 6, 7 y un estado desconectado, en función del estado de carga SOC(t) para transmitir, o bien las diferencias positivas en caso de conexión con el dispositivo de umbral 6, o bien las diferencias negativas en caso de conexión con el dispositivo de umbral 7, o bien nada, al corrector proporcional-integral 9.
25

En el caso de que el estado de carga de la batería SOC(t) se sitúe en el interior de una banda muerta centrada en un valor medio del estado de carga SOC_moy, el conmutador 8 no transmite ninguna diferencia (posición central en la figura 2).
30

En el caso de que el estado de carga SOC(t) de la batería sea superior a un límite alto correspondiente al rebasamiento por el extremo superior de la banda muerta centrada en el valor medio del estado de carga SOC_moy, entonces el conmutador 8 establece una conexión entre el dispositivo de umbral 6 y el corrector 9. Se trata de la configuración ilustrada por la figura 2. La batería 2 está entonces próxima a su saturación y amenaza con no estar ya en condiciones de asegurar su papel de compensación, por la imposibilidad de absorber un suplemento de energía.
35

El dispositivo de umbral 6 sólo deja pasar las diferencias ε negativas, siendo las otras llevadas a cero; el corrector 9 sólo tiene entradas no nulas cuando el estado de carga de la batería SOC(t) es superior a la trayectoria de referencia SOC_ref(t). En este caso, la regulación realizada por el corrector 9 pretende llevar el estado de carga SOC(t) hacia la trayectoria de carga SOC_ref(t) que le es inferior, lo cual corresponde a una bajada de la energía almacenada en la batería 2.
40

Por el contrario, si el estado de carga de la batería SOC(t) es inferior a la trayectoria de referencia SOC_ref(t), la diferencia ε es positiva y, debido al dispositivo de umbral 6, el corrector recibe una entrada nula de modo que no se aporte ninguna corrección.
45

De esta manera, para un estado de carga demasiado alto de la batería, se toleran las diferencias ε positivas entre la trayectoria de carga SOC_ref(t) y el estado de carga SOC(t), mientras que las diferencias ε negativas se compensan.
50

Cuando el seguimiento de la trayectoria de referencia SOC_ref(t) conlleva una demanda de almacenamiento de energía a la batería 2, es decir, cuando la diferencia ε es positiva, este seguimiento ya no está asegurado. Por el contrario, cuando el seguimiento de la trayectoria de referencia SOC_ref(t) conlleva una disminución de la energía almacenada en la batería 2, es decir, cuando la diferencia es negativa, el seguimiento de la trayectoria de referencia SOC_ref(t) permite alejar el estado de carga de los límites físicos de almacenamiento y, por tanto, conservar la capacidad de la batería 2 para absorber las fluctuaciones.
55

De la misma manera, en el caso de que el estado de carga SOC(t) de la batería sea inferior a un límite bajo correspondiente al rebasamiento por el extremo inferior de una banda muerta centrada en un valor medio del estado de carga SOC_moy, entonces el conmutador 8 establece una conexión entre el dispositivo de umbral 7 y el corrector 9. La batería 2 se descarga entonces fuertemente y amenaza con no estar ya en condiciones de
60

asegurar su papel de compensación por falta de energía almacenada.

El dispositivo de umbral 7 sólo deja pasar las diferencias ε positivas, siendo las otras llevadas a cero; el corrector 9 sólo tiene entradas no nulas cuando el estado de carga de la batería SOC(t) es inferior a la trayectoria de referencia SOC_ref(t). En este caso, la regulación realizada por el corrector 9 pretende llevar el estado de carga SOC(t) hacia la trayectoria de carga SOC_ref(t) que le es superior, lo cual corresponde a un aumento de la energía almacenada en la batería 2.

Por el contrario, si el estado de carga de la batería SOC(t) es superior a la trayectoria de referencia SOC_ref(t), la diferencia ε es negativa y, debido al dispositivo de umbral 7, el corrector recibe una entrada nula, de modo que no se aporta ninguna corrección. Así, para un estado de carga demasiado bajo de la batería, se toleran las diferencias ε negativas entre la trayectoria de carga SOC_ref(t) y el estado de carga SOC(t), mientras que las diferencias ε positivas se compensan.

De este modo, cuando el seguimiento de la trayectoria de referencia SOC_ref(t) conlleva una demanda de potencia a la batería 2, es decir, cuando la diferencia ε es negativa, este seguimiento ya no está asegurado. Por el contrario, cuando el seguimiento de la trayectoria de referencia SOC_ref(t) conlleva un aumento de la energía almacenada en la batería 2, es decir, cuando la diferencia es positiva, el seguimiento de la trayectoria de referencia SOC_ref(t) permite alejar el estado de carga de los límites físicos de almacenamiento y, por tanto, conservar la capacidad de la batería 2 para absorber las fluctuaciones.

Tal aproximación permite evitar una deriva del estado de carga SOC(t) hacia los límites (bajo y alto) físicos de almacenamiento.

El corrector 9 calcula una consigna de potencia de batería en bucle cerrado (Pbatt_BF(t)) que se añade a la consigna de potencia de batería en bucle abierto (Pbatt_BO(t)) para proporcionar la orden instantánea de batería Pbatt(t), que es aplicada a la batería 2 para controlarla.

Así, la central de pilotaje controla la batería 2 por medio de una orden instantánea de potencia Pbatt(t) determinada a partir:

- de una consigna de potencia de batería en bucle cerrado Pbatt_BF(t) a la salida del bucle de regulación, y
- de una consigna de potencia de batería en bucle abierto Pbatt_BO(t) correspondiente a la diferencia entre la consigna de producción total Prod(T) y la producción instantánea Prod_f(t) de la fuente de producción eléctrica intermitente.

El corrector 9 utilizado para la regulación del estado de carga SOC(t) es un filtro proporcional-integral (PI) que permite ajustar el comportamiento transitorio de la reacción "anticipativa".

Los dos parámetros K_P (ganancia proporcional) y K_I (ganancia integral) del corrector 9 determinan el tiempo de respuesta y la banda pasante del sistema en bucle así como la amplitud de la consigna de potencia de batería en bucle cerrado (Pbatt_BF(t)). Cuanto más elevados sean K_P y K_I , tanto más se acelerará la reacción a pesar de una orden de gran amplitud. Se filtra menos el efecto de las variaciones de la consigna de potencia de batería en bucle abierto (Pbatt_BO(t)) sobre la consigna de potencia de batería en bucle cerrado Pbatt_BF(t) y, por consiguiente, sobre la potencia total suministrada a la red.

Por el contrario y para pequeños valores de K_P y K_I , el efecto de las variaciones de la consigna de potencia de batería en bucle abierto Pbatt_PO(t) sobre la consigna de potencia de batería en bucle cerrado Pbatt_BF(t) es despreciable, pero el tiempo de respuesta de la reacción es más largo. La regulación de estos parámetros se hace en función de la respuesta deseada, de la frecuencia de las variaciones de Pbatt_BO(t) que están directamente relacionadas con las fluctuaciones de la producción de la fuente de producción eléctrica intermitente y de las exigencias del explotador de la batería 2 en términos de solicitudes de la batería 2 y de duración de vida.

La invención se refiere asimismo a una instalación de producción eléctrica que comprende una batería 2 de almacenamiento de energía destinada a ser acoplada a una fuente de producción eléctrica intermitente para seguir una consigna de potencia total, comprendiendo dicha instalación una central de pilotaje 1 según la invención. Preferentemente, la instalación comprende además una fuente de producción eléctrica intermitente.

La invención se refiere también a un procedimiento de pilotaje de la batería de almacenamiento de acuerdo con la realización de la central de pilotaje según la invención.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Central de pilotaje de una batería (2) de almacenamiento de energía destinada a ser acoplada a una fuente de producción eléctrica intermitente para suministrar a una red de energía eléctrica una potencia eléctrica total que se aproxima a una consigna de potencia total (Prod (T)) según un plan de producción anunciado por adelantado al operador de la red,
- 10 caracterizada por que la central de pilotaje (1) está adaptada para determinar una trayectoria de referencia del estado de carga de la batería (SOC_ref(t)) a partir de una modelización de la batería (5) y de una consigna optimizada de potencia de batería (Pbatt(T)), siendo dicha consigna optimizada de potencia de batería (Pbatt(T)) determinada a partir de la consigna de potencia total (Prod(T)), y
- 15 por que la central de pilotaje (1) está adaptada para realizar una regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga (SOC(t)) de la batería (5) para imponer el seguimiento por el estado de carga (SOC(t)) de la trayectoria de referencia del estado de carga de la batería (SOC_ref(t)).
- 20 2. Central de pilotaje según la reivindicación anterior, estando dicha central adaptada para que la potencia eléctrica total suministrada a la red se aproxime lo mejor posible a la consigna de potencia total (Prod(T)) evitando al mismo tiempo la deriva del estado de carga (SOC(t)).
- 25 3. Central de pilotaje según una de las reivindicaciones anteriores, estando dicha central adaptada para que la regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga sea realizada en caso de deriva del estado de carga (SOC(t)) de la batería con respecto a la trayectoria de referencia del estado de carga.
- 30 4. Central de pilotaje según la reivindicación anterior, estando dicha central adaptada para que la deriva del estado de carga corresponda al rebasamiento de una banda muerta definida alrededor de una trayectoria de referencia del estado de carga (SOC(t)) de la batería (2).
- 35 5. Central de pilotaje según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende unos medios de limitación (6, 7) de la regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga a los únicos seguimientos de la trayectoria de referencia del estado de carga de la batería (SOC_ref(t)) que alejan el estado de carga (SOC(t)) de los límites de la batería.
- 40 6. Central de pilotaje según una de las reivindicaciones anteriores, en la que la regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga toma a la entrada la trayectoria de referencia del estado de carga (SOC_ref(t)) y el estado de carga de la batería (SOC(t)) para proporcionar a la salida una consigna de potencia de batería en bucle cerrado (Pbatt_BF(t)).
- 45 7. Central de pilotaje según una de las reivindicaciones anteriores, controlando dicha central de pilotaje la batería (2) por medio de una orden instantánea de potencia (Pbatt(t)) determinada a partir
- de una consigna de potencia de batería en bucle cerrado (Pbatt_BF(t)) a la salida del bucle de regulación, y
 - 45 - de una consigna de potencia de batería en bucle abierto (Pbatt_BO(t)) correspondiente a la diferencia entre la consigna de producción total (Prod(T)) y la producción instantánea (Prod_f(t)) de la fuente de producción eléctrica intermitente.
- 50 8. Central de pilotaje según una de las reivindicaciones anteriores, en la que la consigna de potencia total (Prod(T)) sigue una trayectoria y el paso de la regulación en bucle cerrado del estado de carga es inferior en por lo menos un factor cien con respecto al paso de la trayectoria seguida por la consigna de potencia total (Prod(T)).
- 55 9. Instalación de producción eléctrica que comprende una batería (2) de almacenamiento de energía destinada a ser acoplada a una fuente de producción eléctrica intermitente para suministrar a una red de energía eléctrica una potencia eléctrica total que se aproxima a una consigna de potencia total (Prod(T)) según un plan de producción anunciado por adelantado al operador de la red, caracterizada por que dicha instalación comprende una central de pilotaje (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 60 10. Instalación de producción eléctrica según la reivindicación anterior, que comprende además una fuente de producción eléctrica intermitente.
- 65 11. Procedimiento de pilotaje de una batería (2) de almacenamiento de energía destinada a ser acoplada a una fuente de producción eléctrica intermitente para suministrar a una red de energía eléctrica una potencia eléctrica total que se aproxima a una consigna de potencia total (Prod(T)) según un plan de producción anunciado por adelantado al operador de la red,

caracterizado por que una trayectoria de referencia del estado de carga de la batería ($SOC_{ref}(t)$) se determina a partir de una modelización de la batería (5) y de una consigna optimizada de potencia de batería ($P_{batt}(T)$), siendo dicha consigna optimizada de potencia de batería ($P_{Batt}(T)$) determinada a partir de la consigna de potencia total ($Prod(T)$), y

5

se realiza una regulación por subordinación en bucle cerrado del estado de carga para imponer el seguimiento por el estado de carga $SOC(t)$ de la trayectoria de referencia del estado de carga de la batería ($SOC_{ref}(t)$).

10

12. Producto de programa de ordenador que comprende unas instrucciones de código de programa para la realización de las etapas del procedimiento según la reivindicación 11, cuando dicho programa es ejecutado en un ordenador.

FIG 1

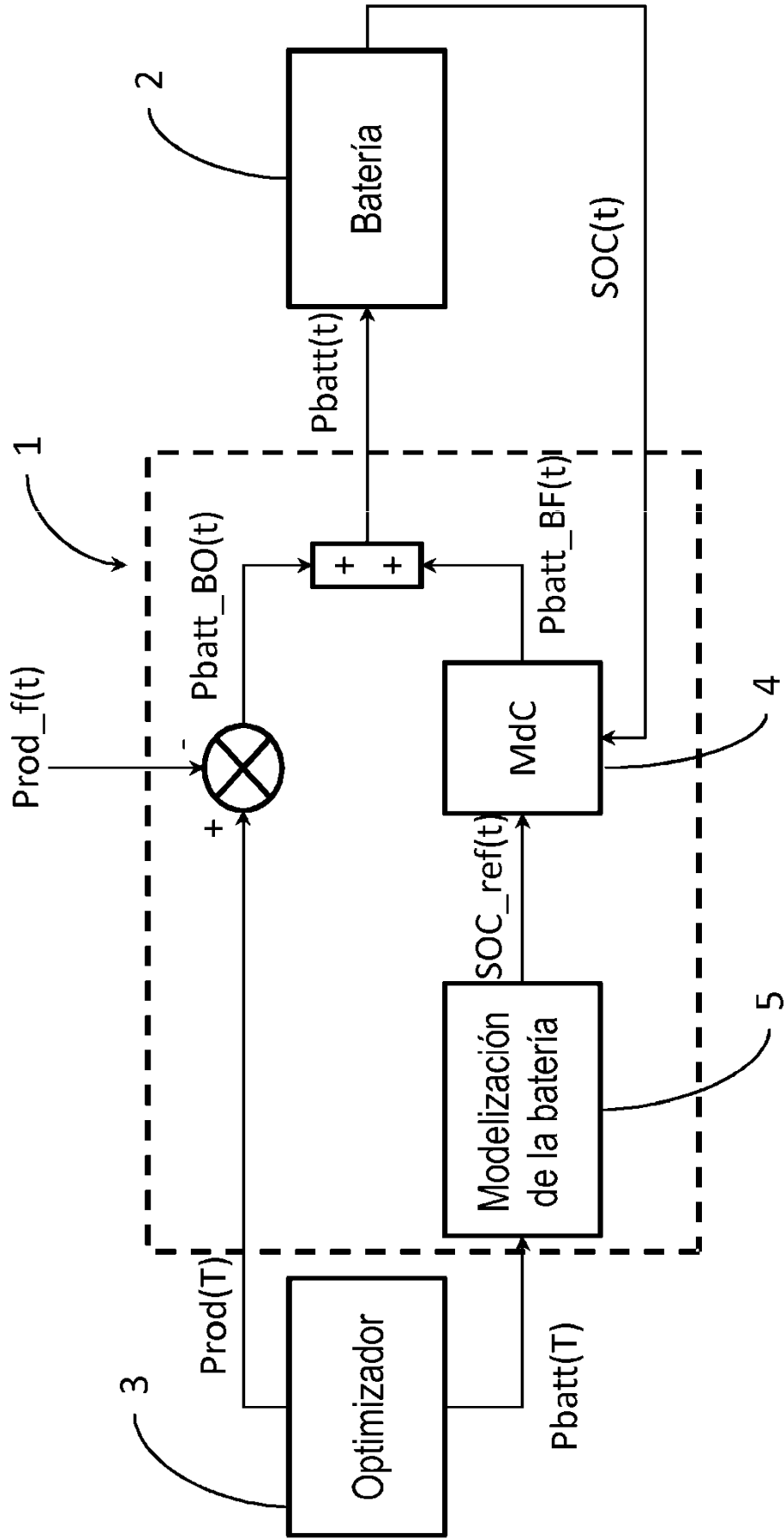


FIG 2

