

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 013 242**

51 Int. Cl.:

H02J 4/00 (2006.01)

H02G 3/00 (2006.01)

H02J 13/00 (2006.01)

H02J 3/32 (2006.01)

H02J 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.06.2019 PCT/FR2019/051326**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.12.2019 WO19234348**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.06.2019 E 19740636 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2024 EP 3811487**

54 Título: **Sistema eléctrico de celdas conmutadas y procedimiento de control de un sistema de este tipo**

30 Prioridad:

06.06.2018 FR 1800573

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

11.04.2025

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ENERGIE ATOMIQUE ET
AUX ENERGIES ALTERNATIVES (100.00%)
25 Rue Leblanc, Bat Le Ponant
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**DESPESE, GHISLAIN;
BACQUET, SYLVAIN;
CASSARINO, LEANDRO;
FERNANDEZ, ERIC;
LOPEZ, YAN y
THOMAS, REMY**

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES, S.L.P.

ES 3 013 242 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

Sistema eléctrico de celdas conmutadas y procedimiento de control de un sistema de este tipo

5 Campo

[0001] La presente invención se refiere a un sistema de celdas conmutadas y a un procedimiento de control de un sistema de este tipo.

10 Exposición de la técnica anterior

[0002] Un sistema de celdas conmutadas comprende varias fases o módulos en cada uno de los cuales pueden conectarse celdas en serie y/o en paralelo mediante interruptores controlables. Un ejemplo de sistema de celdas conmutadas es una batería de acumuladores eléctricos, llamada, igualmente, paquete de batería. Se describen ejemplos de baterías de acumuladores eléctricos conmutados en los documentos US2014015488, US2014287278, FR2972308, FR2972307, US2014109950 y US5656915.

[0003] Un sistema de celdas conmutadas está adaptado para proporcionar una tensión cuya forma de onda puede variar en el tiempo haciendo variar en el transcurso del tiempo la conexión de las celdas mediante el cierre o la apertura de los interruptores.

[0004] Es deseable que la selección de las celdas que se han de conectar/desconectar se realice garantizando que cada celda funcione en su rango de funcionamiento óptimo en función de, por ejemplo, mediciones de tensiones, corrientes y/o temperatura. En particular, puede ser deseable realizar un equilibrado de las celdas, es decir, seleccionar las celdas que se han de conectar/desconectar de modo que todas las celdas lleguen al final de la carga o al final de la descarga sustancialmente al mismo tiempo.

[0005] Para efectuar la función de equilibrado, por lo general se determina una clasificación de las celdas según niveles de prioridad, denominada, en lo sucesivo, tabla de prioridades, siendo las celdas con mayor prioridad de la clasificación las que deberían seleccionarse las primeras, teniendo las celdas cada vez menos prioridad a medida que aumenta el nivel de prioridad en la clasificación. La clasificación de prioridad es susceptible de evolucionar en el transcurso del funcionamiento del sistema, especialmente como resultado de la evolución de los estados de carga de las celdas. Se pueden utilizar dos tablas de prioridad, utilizándose la primera tabla, denominada, en lo sucesivo, tabla de prioridades de descarga, durante una operación de descarga de celdas y utilizándose la segunda tabla, denominada, en lo sucesivo, tabla de prioridades de carga, durante una operación de carga de celdas. A modo de ejemplo, durante una operación de descarga, las celdas con mayor prioridad son las que están más cargadas y las celdas con menor prioridad son las que están menos cargadas, mientras que, durante una operación de carga, las celdas con mayor prioridad son las que están menos cargadas y las celdas con menor prioridad son las que están más cargadas.

[0006] La figura 1 muestra un ejemplo de curva de evolución de una tensión U y de una corriente I periódicas o pseudoperiódicas que debe suministrar un sistema de celdas conmutadas que comprende, por ejemplo, cinco celdas susceptibles de conectarse en serie. La tensión U que se ha de suministrar es sinusoidal y la corriente I que se ha de suministrar está en fase con la tensión U. La potencia instantánea intercambiada por el sistema es igual al producto de la tensión U y de la corriente I. A modo de ejemplo, una potencia instantánea positiva significa que el sistema está suministrando potencia eléctrica al exterior y una potencia instantánea negativa significa que el sistema está absorbiendo potencia eléctrica procedente del exterior. Las celdas se conectan y desconectan a medida que evoluciona la tensión U a fin de que la tensión suministrada por el sistema siga a la tensión U. En el ejemplo representado en la figura 1, la potencia eléctrica es siempre positiva.

[0007] En la figura 1, las tensiones suministradas por cada celda conectada se han representado esquemáticamente mediante rectángulos designados como VCell, conteniendo cada rectángulo el número de prioridad de la celda conectada, teniendo la celda de mayor prioridad el número 1 y la de menor prioridad, el número 5. La tensión realmente suministrada por el sistema corresponde a la suma de las tensiones elementales de las celdas conectadas. La selección de las celdas que se han de conectar puede consistir en utilizando la tabla de prioridades de carga cuando el sistema se está cargando o la tabla de prioridades de descarga cuando el sistema se está descargando y en conectar las celdas según los niveles de prioridad crecientes de la clasificación utilizada.

[0008] En el ejemplo de la figura 1, la potencia instantánea tiene el mismo signo a lo largo de un periodo de la tensión U. Sin embargo, para ciertas aplicaciones, el sistema puede alimentar una carga que tenga una componente reactiva, de modo que la potencia instantánea suministrada por el sistema puede cambiar de signo varias veces a lo largo del periodo de la consigna de tensión U.

[0009] La figura 2 es una figura análoga a la figura 1 para un sistema que comprende 8 celdas susceptibles de conectarse en serie y en el caso en el que la corriente I está desfasada con respecto a la tensión U. También se ha representado en la figura 2 la curva de evolución P de la potencia instantánea intercambiada por el sistema. La

potencia P cambia de signo cuatro veces a lo largo del periodo de la tensión U en los instantes t0, t1, t2 y t3. En la figura 2, las tensiones suministradas por cada celda conectada se han representado esquemáticamente mediante rectángulos designados como VCell, conteniendo cada rectángulo una referencia al estado de carga de la celda, teniendo la celda más cargada la referencia S1 y la celda menos cargada, la referencia S8. Desde el instante t0 hasta el instante t1, la potencia instantánea es negativa, por lo que el sistema se está cargando. La selección de las celdas que se han de conectar se realiza mediante la tabla de prioridades de carga. Así, la celda menos cargada, que tiene la referencia S8, se carga la primera. En el instante t1, el signo de la potencia instantánea cambia cuando la tensión no es cero. A continuación, el sistema pasa de una operación de carga a una operación de descarga. Si desea utilizar entonces la tabla de prioridades de descarga, como se representa en la figura 2, el número de celdas que se han de desconectar y conectar es significativo. No obstante, puede resultar difícil para el sistema realizar rápidamente un gran número de conexiones y desconexiones. Puede que no sea posible un seguimiento adecuado de la tensión U. Sin embargo, si se sigue utilizando la tabla de prioridades de carga después del instante t1, determinadas celdas conectadas que han pasado por una fase de carga entre t0 y t1, pueden no ser prioritarias para una operación de descarga, tal como la celda S8. Existe entonces el riesgo de que algunas celdas se descarguen demasiado, porque la fase de descarga entre t1 y t2 es más larga que la fase de carga, entre t0 y t1, como podría ser el caso de la celda S8 si la tabla de prioridades de carga se sigue utilizando después del instante t1. Como alternativa, dado que la potencia media es positiva, es decir, el sistema se está descargando en su conjunto, sería más bien ventajoso utilizar continuamente la tabla de prioridades en la descarga. No obstante, la corriente media experimentada por cada celda no seguiría necesariamente el orden decreciente de la tabla de prioridades en la descarga, por ejemplo, S1 podría ver una corriente de descarga menor que S7, utilizándose S7 únicamente con potencia positiva, mientras que S1 experimenta una alternancia entre potencia negativa y positiva, con un tiempo de conexión efectivamente más largo, aunque no necesariamente una corriente media más alta.

Sumario

[0010] Así, un objeto de un modo de realización es prever una batería que palie al menos algunas de las desventajas de los sistemas de celdas conmutadas descritos anteriormente.

[0011] Otro objeto es facilitar el equilibrado de las celdas.

[0012] Otro objeto es que la selección de las celdas que se han de conectar tenga en cuenta los cambios de signo de la potencia instantánea suministrada por el sistema.

[0013] Otro objeto es reducir el número de celdas conectadas simultáneamente, preferiblemente que sea igual a la unidad.

[0014] Así, un modo de realización prevé un procedimiento según la reivindicación 1 para controlar un sistema eléctrico que comprende terminales primero y segundo, celdas eléctricas e interruptores configurados para conectar o desconectar las celdas en serie y/o en paralelo entre los terminales primero y segundo.

[0015] Un modo de realización prevé, igualmente, un sistema eléctrico, según la reivindicación 10, que comprende terminales primero y segundo, celdas eléctricas, interruptores configurados para conectar o desconectar las celdas en serie y/o en paralelo entre los terminales primero y segundo y un módulo de procesamiento.

[0016] Según un modo de realización, las celdas son elementos de almacenamiento de cargas eléctricas.

[0017] Según un modo de realización, las celdas son acumuladores eléctricos.

Breve descripción de los dibujos

[0018] Estas características y ventajas, así como otras, se expondrán en detalle en la siguiente descripción de modos de realización particulares hecha a título no limitativo en relación con las figuras adjuntas de entre las cuales:

la figura 1 representa un ejemplo de curvas de evolución de una tensión y de una corriente que ha de suministrar un sistema conocido y las celdas que se conectan para seguir la consigna de tensión;

la figura 2 es una figura análoga a la figura 1 para otro ejemplo de curvas de evolución de la tensión y de la corriente que ha de suministrar el sistema conocido y representa, también, la curva de evolución de la potencia instantánea que ha de suministrar el sistema de celdas conmutadas;

la figura 3 representa, de forma parcial y esquemática, un modo de realización de una batería de acumuladores conmutados;

la figura 4 representa, de forma parcial y esquemática, un modo de realización de un módulo de la batería de la figura 2;

la figura 5 es un diagrama de bloques que ilustra un modo de realización de un procedimiento de control de un sistema de celdas conmutadas;

las figuras 6 a 9 representan diferentes ejemplos de curvas de evolución de la tensión, de la intensidad de la corriente y de la potencia instantánea que ha de suministrar la batería representada en la figura 3 y las

distribuciones de las corrientes medias suministradas por las celdas de la batería en función del número de puesta en marcha de la celda;

la figura 10 es una figura análoga a la figura 1 para otra regla de conexión de las celdas; y

las figuras 11 a 13 representan diferentes ejemplos de curvas de evolución de la tensión, de la intensidad de la corriente y de la potencia instantánea que ha de suministrar la batería representada en la figura 2 y las distribuciones de las corrientes medias suministradas por las celdas de la batería en función del número de puesta en marcha de la celda para dos reglas diferentes de conexión de las celdas.

Descripción detallada

[0019] Los mismos elementos se han designado con las mismas referencias en las diferentes figuras. En aras de la claridad, solo se han representado y detallado los elementos útiles para la comprensión de los modos de realización descritos. En la continuación de la descripción, las expresiones "sustancialmente" y "del orden de" significan "con un margen del 10 %", preferentemente, "con un margen del 5 %".

[0020] Se va a describir un modo de realización de un procedimiento de control de un sistema de celdas conmutadas en el caso de una batería de acumuladores conmutados para la que las celdas corresponden a acumuladores conmutados. No obstante, los presentes modos de realización se aplican a cualquier tipo de sistema de celdas conmutadas adaptado para suministrar una tensión variable a una carga. Cada celda del sistema de celdas conmutadas puede corresponder a un elemento de almacenamiento de cargas eléctricas. Un ejemplo de elemento de almacenamiento de cargas eléctricas es, por ejemplo, un acumulador eléctrico o un condensador. En funcionamiento, el sistema está destinado a conectarse a un dispositivo que absorbe o suministra potencia según la aplicación prevista. A modo de ejemplo, este dispositivo corresponde a una máquina eléctrica, por ejemplo, a un motor eléctrico, o a la red de distribución eléctrica.

[0021] La figura 3 representa un ejemplo de una batería 5 de acumuladores conmutados. La batería 5 comprende N módulos E_1 a E_N . El número N es un número entero mayor o igual que 1, preferentemente, el número N está comprendido entre 1 y 100 000. Cada módulo comprende un terminal positivo B+ y un terminal negativo B- y varias celdas, no representadas, que se pueden conectar entre sí en serie y/o en paralelo por medio de interruptores, no representados, entre los terminales B+ y B-. Los módulos E_1 a E_N se pueden conectar en serie entre un primer terminal N de la batería 5 y un segundo terminal P de la batería 5.

[0022] La batería 5 comprende un circuito BMS de control de los módulos E_1 a E_N , denominado circuito de control maestro en lo sucesivo. El circuito de control maestro BMS puede intercambiar datos con cada módulo E_1 a E_N por medio de un bus bidireccional BUS de transmisión de datos. Cada módulo E_1 a E_N comprende un circuito adaptado para controlar los interruptores del módulo a partir de comandos proporcionados por el circuito de control maestro BMS. Este circuito de control se denomina en lo sucesivo circuito de control esclavo. Cada módulo puede comprender, además, unos sensores, no representados, por ejemplo, sensores de la tensión en los terminales de cada celda del módulo, sensores de la corriente suministrada por cada celda del módulo y/o sensores de la temperatura de cada celda del módulo. El circuito de control esclavo de cada módulo E_1 a E_N está adaptado para transmitir al circuito de control maestro BMS datos representativos de las mediciones de tensiones, corrientes y/o temperaturas mediante el bus de transmisión de datos BUS.

[0023] El circuito de control maestro BMS puede comprender un sensor de la tensión entre los terminales P y N, así como un sensor de la corriente total y uno o más sensores de temperatura. El circuito de control maestro BMS está adaptado para recibir una consigna C y para seleccionar las celdas que se han de conectar o desconectar para cada módulo a fin de seguir la consigna. La consigna C puede ser una consigna de tensión o de corriente, seleccionándose entonces las celdas que se han de conectar o desconectar para cada módulo a fin de obtener la tensión y/o la corriente deseadas entre los terminales P y N de la batería 5. A modo de variante, la consigna C puede ser una consigna de un número de acumuladores que se han de conectar en serie y/o en paralelo entre los terminales P y N de la batería 5, seleccionándose entonces las celdas que se han de conectar o desconectar para cada módulo a fin de obtener el número de acumuladores conectados en serie y/o en paralelo entre los terminales P y N de la batería 5 requerido por la consigna. El circuito de control maestro BMS proporciona entonces comandos a los módulos medio del bus de transmisión de datos BUS a partir de los cuales el circuito de control esclavo de cada módulo conecta o desconecta las celdas según la configuración deseada.

[0024] El circuito de control maestro BMS puede corresponder a un circuito dedicado y/o puede comprender un procesador, por ejemplo, un microprocesador o un microcontrolador, adaptado para ejecutar instrucciones de un programa informático almacenado en una memoria. El circuito de control maestro BMS comprende, en concreto, una memoria MEM de almacenamiento de datos.

[0025] La figura 4 representa un modo de realización del módulo E_i , donde i varía de 1 a N.

[0026] Según el presente modo de realización, el módulo E_i está adaptado para suministrar una tensión U_i entre el terminal positivo B+ y el terminal negativo B-. El módulo E_i comprende las celdas C_1 a C_M , donde M es un número entero mayor o igual que 2. Por ejemplo, M está entre 2 y 15, preferentemente, entre 2 y 5, estando cuatro celdas C_1 ,

5 C_2 , C_3 y C_4 representadas a modo de ejemplo en la figura 3. Las celdas C_1 a C_M están conectadas entre sí y a los terminales B+ y B- mediante interruptores. En el presente modo de realización, para cada celda C_k , siendo k un número entero que varía de 1 a M, el módulo E_i comprende un primer interruptor $SW_{1,k}$ en serie con la celda C_k y un segundo interruptor $SW_{2,k}$ en paralelo con el conjunto que comprende la celda C_k y el interruptor $SW_{1,k}$. Así, cada celda está asociada a un interruptor en serie y presenta un interruptor dispuesto en paralelo. Los M conjuntos que comprenden la celda C_k y el primer interruptor $SW_{1,k}$ están dispuestos en serie entre un nodo A y un nodo B. El control de los interruptores $SW_{1,k}$ y $SW_{2,k}$, variando k de 1 a M, permite poner en serie, entre los nodos A y B, de 1 a M celdas de entre las M celdas C_1 a C_M . En el presente modo de realización, el módulo E_i comprende, además, un puente inversor, también denominado puente en H, entre los nodos A y B y los terminales B+ y B- que permite aplicar la tensión presente entre los nodos A y B entre los terminales B+ y B- en ambos sentidos. Según un modo de realización, el puente inversor comprende un interruptor SW_3 que conecta el nodo A al terminal B+, un interruptor SW_4 que conecta el nodo A al terminal B-, un interruptor SW_5 que conecta el nodo B al terminal B+ y un interruptor SW_6 que conecta el nodo B al terminal B-. A título de ejemplo, cada interruptor $SW_{1,k}$ y $SW_{2,k}$, variando k de 1 a M, SW_3 , SW_4 , SW_5 y SW_6 puede corresponder a un transistor de efecto de campo de puerta aislada, también denominado transistor MOS, en concreto, un transistor MOS de potencia, por ejemplo, un transistor MOS de canal N.

20 **[0027]** Cada módulo E_i comprende, además, el circuito de control esclavo 30 (μC) adaptado para intercambiar datos emitidos por el circuito de control maestro BMS a través del bus de transmisión de datos BUS. El circuito de control esclavo 30 puede corresponder a un circuito dedicado o puede comprender un procesador, por ejemplo, un microprocesador o un microcontrolador, adaptado para ejecutar instrucciones de un programa informático almacenado en una memoria.

25 **[0028]** Cada módulo E_i comprende, además, un circuito de mando 32 (*Controlador de puente inversor*) conectado a los interruptores SW_3 , SW_4 , SW_5 y SW_6 del puente inversor y un circuito de mando 34 (*Controlador de transistores*) conectado a los interruptores $SW_{1,k}$ y $SW_{2,k}$, variando k de 1 a M. Cada circuito de mando 32, 34 está adaptado para convertir las señales de control proporcionadas por el circuito de control esclavo 30 en señales adaptadas para el control de los interruptores.

30 **[0029]** Cada módulo E_i comprende, además, unos sensores 36 (*U, I, T° sensor*) conectados al circuito de control esclavo 30. El módulo E_i puede comprender, para cada celda C_k , un sensor de temperatura adaptado para medir la temperatura de la celda C_k . El módulo E_i puede comprender, además, para cada celda C_k , un sensor de tensión adaptado para medir la tensión en los terminales de la celda C_k . El módulo E_i puede comprender, además, un sensor de corriente adaptado para medir la corriente que circula en el nodo A o en el nodo B. El circuito de control esclavo 30 de cada módulo E_i está adaptado para transmitir terceros datos al circuito de control maestro BMS a través del bus de transmisión de datos BUS representativos de las mediciones realizadas por los sensores 36 del módulo E_i . El número y el tipo de sensores depende, en concreto, de la disposición de las celdas del módulo E_i . En la disposición de celdas representada en la figura 3, puede estar previsto un único sensor de la corriente que circula en el nodo A o en el nodo B, o ningún sensor de corriente en absoluto, pudiendo medirse la corriente también en cualquier punto del trayecto de potencia, por ejemplo, a través de un circuito dedicado en el circuito de control maestro BMS.

35 **[0030]** En el modo de realización del módulo E_i de batería ilustrado en la figura 4, una orden de conexión de la celda C_k del módulo E_i significa que la celda C_k debe conectarse en serie entre los nodos A y B del módulo E_i , lo que se obtiene cerrando el interruptor $SW_{1,k}$ y abriendo el interruptor $SW_{2,k}$, y una orden de desconexión de la celda C_k del módulo E_i significa que la celda C_k no debe conectarse en serie entre los nodos A y B del módulo E_i , lo que se obtiene abriendo el interruptor $SW_{1,k}$ y cerrando el interruptor $SW_{2,k}$. No obstante, para una disposición diferente de las celdas C_k del módulo E_i en la que las celdas C_k pueden estar dispuestas en serie o en paralelo entre sí entre los nodos A y B, una orden de conexión de una celda C_k precisa, además, en qué configuración, serie o paralelo, se encuentra la celda C_k con respecto a las demás celdas del módulo E_i .

40 **[0031]** El orden de desconexión de las celdas ya conectadas puede realizarse automáticamente siguiendo una regla de desconexión. Un ejemplo de regla de desconexión es que la última celda conectada es la primera en desconectarse, siendo esta regla denominada en lo sucesivo regla FILO (sigla inglesa para *First In Last Out*). No obstante, se puede utilizar otra regla de desconexión. A modo de ejemplo, la regla de conexión puede ser que la primera celda conectada sea la primera en desconectarse, siendo esta regla denominada en lo sucesivo regla FIFO (sigla inglesa para *First In First Out*).

45 **[0032]** Según un modo de realización, la tensión y la corriente que ha de suministrar el sistema de celdas conmutadas son continuas, periódicas o sustancialmente periódicas, lo que se traduce en el suministro de una potencia continua, periódica, o sustancialmente periódica. Esto significa que podemos definir un periodo T para la tensión y la corriente para el que las curvas de evolución de la corriente y de la tensión varían poco de un periodo a otro. A modo de ejemplo, la evolución de un periodo a otro de las curvas de tensión/corriente puede medirse con el error cuadrático medio, calculado a lo largo de un periodo. Podemos definir que una tensión/corriente evoluciona "poco" de un periodo a otro si el error cuadrático medio, entre un periodo y el siguiente, es inferior al 20 %. El error cuadrático medio (MSE, sigla inglesa para *Mean Squared Error*) se calcula, por ejemplo, para la curva de tensión U, entre el periodo T_0 y el periodo siguiente T_1 , según la relación 1) siguiente:

$$\text{MSE}(U_{T1-T0}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_{T1i} - U_{T0i})^2 \quad 1)$$

5 **[0033]** En algunos casos, esta pequeña variación puede traducirse simplemente en una secuencia de duraciones entre cruces por cero de la tensión o de la corriente que no cambia en más de un 20 % de un periodo a otro, y lo mismo se aplica para la amplitud de pico alcanzada entre cada cruce por cero (o el valor eficaz).

10 **[0034]** Cabe señalar que este criterio puede no cumplirse en casos excepcionales, sino que se cumple preferentemente por término medio al menos 8 de cada 10 veces en la concatenación de periodos. Por ejemplo, puede haber variaciones imprevisibles y repentinas de corriente cuando se conecta o desconecta una carga, la presencia de perturbaciones no periódicas cuando la batería está conectada a la red eléctrica, o incluso variaciones rápidas de frecuencia y de amplitud, por ejemplo, cuando un vehículo eléctrico frena bruscamente. Según un modo de realización, el periodo T está comprendido entre 1 ms y 1 s, lo que corresponde a una frecuencia comprendida entre 1 Hz y 1000 Hz. A modo de ejemplo, cuando el sistema de celdas conmutadas se utiliza para controlar un motor eléctrico, la tensión y la corriente que ha de suministrar el sistema pueden ser sustancialmente sinusoidales con un periodo T del orden de algunos milisegundos a algunos cientos de milisegundos, pudiendo ser las fases de aceleración/desaceleración del motor del orden de algunos segundos, lo que significa que hay poca variación en las curvas de tensión y corriente entre un periodo y el siguiente. De hecho, para una batería 5 que alimenta un motor eléctrico, en función de la velocidad del motor, la frecuencia eléctrica aplicada al motor puede oscilar entre algunos cientos y más de un kilohercio. La ventana temporal de análisis puede elegirse, por ejemplo, entre 100 ms y 1 s, para cubrir al menos un periodo eléctrico completo a velocidades bajas y varios periodos eléctricos a velocidades más altas.

25 **[0035]** La figura 5 es un diagrama de bloques que ilustra un procedimiento de conexión/desconexión de celdas que puede ser implementado por un sistema de celdas conmutadas, por ejemplo, la batería 5 representada en la figura 3. El procedimiento puede implementarse, entonces, por el circuito de control maestro BMS de la batería 5.

30 **[0036]** En la etapa 10, se actualizan las tablas de prioridades. Según un modo de realización, se utilizan dos tablas de prioridades, la tabla de prioridades de carga y la tabla de prioridades de descarga. A modo de ejemplo, para la batería 5, cada tabla de prioridades puede estar almacenada en la memoria MEM del circuito de control maestro BMS, por ejemplo, en forma de cuadro, correspondiendo cada fila del cuadro, por ejemplo, a una línea de la memoria MEM. A modo de ejemplo, para un sistema que comprende N celdas, para cada tabla de prioridad, a cada celda se le atribuye un identificador, por ejemplo, un número que varía de 1 a N. Los identificadores asociados a una misma celda pueden ser los mismos para ambas tablas de prioridades. Para un sistema que comprende N celdas, cada tabla de prioridades comprende N filas, estando cada fila j, siendo j un número entero que varía de 1 a N, asociada a la celda de número j. En particular, el circuito de control maestro BMS está adaptado para almacenar en cada tabla de prioridades para cada celda el nivel de prioridad de la celda. A modo de ejemplo, para un sistema que comprende N celdas, los niveles de prioridad de las celdas van de 1 a N, siendo el nivel de prioridad "1" el más importante y siendo el nivel de prioridad "N" el menos importante. Los niveles de prioridad de las celdas de cada tabla de prioridades pueden modificarse, en particular a partir de las mediciones de los sensores. Actualizar la tabla de prioridades significa modificar los niveles de prioridad de al menos algunas de las celdas de la tabla de prioridades.

40 **[0037]** Los niveles de prioridad durante una operación de carga no son necesariamente simétricos a los niveles de prioridad durante una operación de descarga, es decir, el orden de los niveles de prioridad de las celdas, de mayor a menor prioridad, para una operación de descarga del sistema no es necesariamente el inverso al orden de los niveles de prioridad de las celdas, de mayor a menor prioridad, para una operación de carga.

45 **[0038]** Para determinar el nivel de prioridad de cada celda del sistema en la tabla de prioridades de carga o en la tabla de prioridades de descarga, podrán tenerse en cuenta uno o varios de los siguientes criterios, para cada celda:

- 50 el estado de carga de la celda;
- la temperatura de la celda;
- capacidad de la celda;
- el estado de salud de la celda (SoH, sigla inglesa para *State of Health*);
- la impedancia interna de la celda;
- 55 la corriente que circula por la batería 5, por ejemplo, la corriente eficaz;
- el tipo de celda, sobre todo si las celdas del sistema no son todas del mismo tipo, por ejemplo, unas primeras celdas cuyo uso se prioriza a alta temperatura y unas segundas celdas cuyo uso se prioriza a baja temperatura, o incluso unas primeras celdas cuyo uso se prioriza a baja corriente y unas segundas celdas cuyo uso se prioriza a alta corriente; y
- 60 un nivel de urgencia, en particular con fines de diagnóstico, por ejemplo, para acelerar la carga o la descarga de una celda concreta con el fin de estimar su estado de salud (SoH) o, por el contrario, para mantener aislada una celda con el fin de estimar su tensión en circuito abierto tras un tiempo de relajación.

65 **[0039]** En la etapa 12, para cada número de puesta en marcha se determina un dato que representa la carga eléctrica, la corriente media o la energía intercambiada por la celda correspondiente a este número de puesta en marcha, a lo largo de una ventana temporal de análisis en función del número de puesta en marcha de la celda. En el

caso de una primera utilización, los valores de corriente media o de energía serán cero. La ventana de tiempo de análisis se define en función del periodo T de la consigna C que se ha de seguir y es, por ejemplo, igual al periodo T, a la mitad del periodo T o a varios periodos T. El periodo eléctrico T puede ser variable, por ejemplo, en el caso del control de un motor de velocidad variable. En este caso, el periodo T evolucionará con el tiempo. A continuación, es posible basarse en una duración media/nominal del periodo, o en una duración medida a lo largo del periodo o periodos anteriores, o elegir una ventana de duración fija determinada de antemano. Según un modo de realización, se utiliza el periodo, o varios periodos, inmediatamente anterior al momento del análisis. El número de puesta en marcha corresponde al orden de la celda en la secuencia de conexiones de las celdas. Una celda con un número de puesta en marcha n significa que la celda es la enésima celda que se conecta. Cuando la regla de desconexión es la regla FILO, esto también significa que la celda es la enésima desde la última en desconectarse.

[0040] La corriente media puede determinarse calculando la media de la corriente intercambiada por la celda, correspondiente al número de puesta en marcha n para el que queremos calcular la corriente, a lo largo de la ventana de análisis. Carga eléctrica intercambiada por una celda, correspondiente al número de puesta en marcha n para el que queremos calcular la corriente, a lo largo de la ventana de análisis puede determinarse calculando la integral de la corriente intercambiada por la celda a lo largo de la ventana de análisis. La energía intercambiada corresponde al producto de la carga eléctrica intercambiada a lo largo de la ventana de análisis por la tensión en los terminales de la celda. La corriente media suministrada por una celda puede determinarse a partir de mediciones de corriente procedentes de un sensor de corriente. A modo de variante, la corriente media de una celda puede determinarse por simulación a partir de la evolución de la corriente total suministrada por el sistema a lo largo de la ventana de análisis y de los instantes estimados de conexión y de desconexión de la celda a lo largo de la ventana de análisis. En la continuación de la descripción, utilizamos la corriente media suministrada por la celda de puesta en marcha n a lo largo de la ventana de análisis. No obstante, es evidente que los modos de realización descritos a continuación también se aplican en el caso de que se utilice otro dato representativo de la carga eléctrica, de la corriente media o de la energía intercambiada por la celda a lo largo de la ventana de análisis.

[0041] También se determina si la potencia media de salida del sistema es positiva o negativa a lo largo de la ventana de análisis, es decir, si el sistema se está descargando o cargando en su conjunto a lo largo de la ventana de análisis. A continuación, se determina una clasificación de los números de puesta en marcha de las celdas en función de las corrientes medias de las celdas asociadas a estos números de puesta en marcha n. Cuando el sistema se está descargando en su conjunto a lo largo de la ventana de análisis, los números de puesta en marcha de las celdas pueden clasificarse en función de las corrientes medias decrecientes, incluidos los números de puesta en marcha de las celdas para las que la corriente media es cero. Cuando el sistema se está cargando en su conjunto a lo largo de la ventana de análisis, los números de puesta en marcha de las celdas pueden clasificarse en función de las corrientes medias crecientes, incluidos los números de puesta en marcha de las celdas para las que la corriente media es cero a lo largo de la ventana de análisis.

[0042] En la etapa 14, se determina una tabla de selección a partir de la tabla de prioridades y de la clasificación de los números de puesta en marcha de las celdas. La tabla de selección indica la siguiente celda que debe ponerse en marcha, es decir, conectarse. La tabla de selección puede comprender, para cada celda, el número de puesta en marcha de la celda y el identificador de la celda. A modo de ejemplo, para una batería que comprende N celdas, los órdenes de puesta en marcha de las celdas van de 1 a N, el número de puesta en marcha 1 significa que la celda asociada será la primera en conectarse y el número de puesta en marcha N significa que la celda asociada será la última en conectarse.

[0043] Según un modo de realización, los números de puesta en marcha se asignan a las celdas teniendo en cuenta las tablas de prioridades y la clasificación de los números de puesta en marcha de las celdas en función de las corrientes medias de las celdas. Según un modo de realización, se utiliza la tabla de prioridades de carga si el sistema se está cargando en su conjunto y la tabla de prioridades de descarga si el sistema se está descargando en su conjunto, y los números de puesta en marcha de la clasificación de números de puesta en marcha de las celdas, clasificadas en la etapa 12, se asignan a las celdas clasificadas según niveles crecientes de prioridad. Esto significa que a la celda con el i-ésimo nivel de prioridad en la tabla de prioridades se le asigna el número de puesta en marcha en la i-ésima posición en la clasificación de números de puesta en marcha. Por ejemplo, a la celda con el nivel de prioridad más alto de la tabla de prioridades se le asigna el número de puesta en marcha que ocupa el primer lugar en la clasificación de números de puesta en marcha. Asimismo, a la celda con el segundo nivel de prioridad más alto en la tabla de prioridades se le asigna el número de puesta en marcha que ocupa el segundo lugar en la clasificación de números de puesta en marcha, y así sucesivamente.

[0044] Para determinadas formas de onda de corriente y tensión, unas primeras celdas pueden intercambiar una energía media positiva a lo largo de un período de evolución T de la tensión y la corriente suministradas por el sistema, mientras que unas segundas celdas pueden intercambiar una energía media negativa a lo largo del período T. Esto significa que, a lo largo del periodo T, las primeras celdas se están descargando en su conjunto, mientras que las segundas celdas se están cargando en su conjunto. En el modo de realización descrito anteriormente, si el sistema se está cargando en su conjunto, se utiliza la tabla de prioridades de carga para todas las celdas para determinar la tabla de selección, es decir, tanto para las celdas que se están cargando a lo largo del periodo T como para las celdas que se están descargando a lo largo del periodo T. Si el sistema se está descargando en su conjunto, se utiliza la

tabla de prioridades de descarga para todas las celdas, es decir, tanto para las celdas que se están descargando a lo largo del periodo T como para las celdas que se están cargando a lo largo del periodo T.

[0045] Según otro modo de realización, para determinar la tabla de selección, se utiliza la tabla de prioridades de carga para las celdas que se están cargando en su conjunto a lo largo del periodo T y se utiliza la tabla de prioridades de descarga para las celdas que se están descargando en su conjunto a lo largo del periodo T. De este modo se evita el riesgo de sobrecargar determinadas celdas cuando la potencia media suministrada por el sistema es positiva, lo que corresponde a una descarga del sistema, y a la inversa, el riesgo de sobredescarga de algunas celdas cuando el sistema se está recargando en su conjunto.

[0046] No obstante, las celdas pueden tener prioridad tanto de carga como de descarga y, por lo tanto, es posible que aparezcan dos veces en la tabla de selección cuando las primeras celdas se estén descargando en su conjunto y las segundas celdas se estén cargando en su conjunto a lo largo del periodo T. Para evitar este conflicto, puede aplicarse una de las siguientes opciones:

- en primer lugar, asignar los números de puesta en marcha a las celdas con una corriente media de primer signo, por ejemplo, las celdas que participan en el modo principal de carga o de descarga del sistema, a continuación, asignar los números de puesta en marcha restantes a las celdas restantes;
- en caso de conflicto, alternar las asignaciones entre los números de puesta en marcha correspondientes a corrientes positiva y negativa; o
- en caso de conflicto, asociar aleatoriamente los números de puesta en marcha correspondientes a corrientes positiva y negativa.

[0047] En la etapa 16, el sistema determina si se ha recibido una nueva consigna C. Si se ha recibido una nueva consigna C, el procedimiento continúa en la etapa 18.

[0048] En la etapa 18, el sistema determina comandos para seguir la nueva consigna utilizando la tabla de selección. El procedimiento continúa en la etapa 20.

[0049] En la etapa 20, las celdas se conectan/desconectan en función de los comandos. El procedimiento continúa en la etapa 16.

[0050] Las etapas 10 y 12 pueden llevarse a cabo independientemente entre sí e independientemente de las etapas 16 a 20. A modo de ejemplo, las etapas 10 y 12 se pueden realizar de manera repetida, por ejemplo cada 100 ms, idealmente de una a varias veces la ventana de análisis, o de una a varias veces el periodo eléctrico T. Se puede determinar una nueva tabla de selección en la etapa 14 cada vez que se actualiza la tabla de prioridades de carga o de descarga en la etapa 10 y cada vez que se determina una nueva clasificación de números de puesta en marcha en la etapa 12.

[0051] A modo de variante, la etapa 16 puede no estar presente y las etapas 18 y 20 pueden ejecutarse en cada ciclo. Cuando la consigna C no varía, en la etapa 18 se determinan, aun así, los comandos para seguir el valor inalterado de la consigna C y estos comandos se transmiten a las celdas en la etapa 20. De hecho, en determinados casos, la consigna puede permanecer constante, aunque cambie la tabla de selección, en este caso, puede producirse una permutación entre una celda conectada y una celda desconectada para mejorar el equilibrado.

[0052] La figura 6 representa, en la parte superior, un primer ejemplo de curvas de evolución de la tensión U (expresada en voltios), de la corriente I (expresada en decaamperios) y de la potencia instantánea P (expresada en decivatios) suministrada por una batería durante un periodo T con la estructura mostrada en las figuras 3 y 4 y que comprende al menos 98 celdas cada una de ellas adaptada para suministrar 3,3 V. Si se dispone de otras celdas en el sistema, estas celdas no se utilizarán (conectarán), hasta que se defina una nueva tabla de selección (en la etapa 14). La figura 6, que muestra la distribución de las corrientes medias por número de puesta en marcha, representa solo los 98 primeros números de puesta en marcha. Si el sistema dispone de más de 98 celdas, los siguientes números de puesta en marcha tienen entonces una corriente media de cero, porque no se utilizan a lo largo de la ventana de análisis considerada aquí.

[0053] En el primer ejemplo, la tensión U es sinusoidal y la corriente I está desfasada en $n/3$ con respecto a la curva de tensión U y contiene armónicos, en concreto de nivel 3. Para proporcionar la curva de tensión sinusoidal U, la batería 5 conecta, en la salida, una celda después de otra, hasta el valor máximo de tensión, después se desconectan las celdas hasta alcanzar la tensión de cero. En el primer ejemplo, la inserción o extracción de una celda representa un salto de tensión de 3,3 V. Para generar la tensión negativa, las celdas se conectan en la salida con la polaridad invertida. La forma de la curva de corriente I y su desfase, con respecto a la tensión U, induce una alternancia de signo en la potencia instantánea P con una potencia media positiva.

[0054] La figura 6 muestra la corriente media I_{med} suministrada para cada celda de la batería, ordenada de 1 a 98 según el número de puesta en marcha de la celda, siendo la celda con el número de puesta en marcha 1 la primera en conectarse. Cabe tener en cuenta que, a lo largo de una ventana de análisis, la tabla de prioridades puede haber

cambiado, así como la tabla de selección. Así, un mismo número de puesta en marcha puede haber sido ocupado por dos celdas diferentes en dos momentos distintos de la ventana de análisis. La corriente media que se ha de considerar corresponde al número de puesta en marcha y no a una celda que haya adoptado temporalmente este número de puesta en marcha. En el primer ejemplo, la distribución de las corrientes medias no es monótona y la celda que intercambia más energía es aquella cuyo número de puesta en marcha es el 69 y que se conecta únicamente cuando la tensión U que ha de suministrarse es superior a 224,4 V. Esto significa que cuando se implementa el procedimiento descrito anteriormente en relación con la figura 5, en la etapa 14, a la celda con la prioridad de descarga más alta se le asigna el número de puesta en marcha 69, que tiene la corriente media más alta, y a la celda con la prioridad de descarga más baja se le asigna el número de puesta en marcha 98, que tiene la corriente media más baja distinto de cero si solo hay 98 celdas disponibles. Si, por ejemplo, tenemos 99 celdas disponibles, la celda con la prioridad de descarga más baja no se utilizará y tendrá el número de puesta en marcha 99 (con 0 Amperios de corriente media) o cualquier número por encima de 98 si hay más de 99 celdas.

[0055] La figura 7 es una figura análoga a similar a la figura 6 para un segundo ejemplo de curvas de evolución de la tensión U y de la corriente I . En el segundo ejemplo, la tensión U es sinusoidal y la corriente I está en fase con la tensión U y contiene una fuerte componente armónica, en concreto de nivel 3. Además, la batería comprende 98 celdas, cada una de ellas adaptada para suministrar 3,3 V. Como se muestra en la parte inferior de la figura 7, para las celdas con un número de puesta en marcha menor o igual a 72, la corriente media suministrada por la celda es positiva y para las celdas con un número de puesta en marcha igual o superior a 74, la corriente media suministrada por la celda es negativa. Esto significa que las celdas con un número de puesta en marcha menor o igual a 72 experimentan una descarga, mientras que las celdas con un número de puesta en marcha mayor o igual a 74 experimentan una carga. En el segundo ejemplo, la batería se está descargando en su conjunto, por lo tanto, los 73 primeros números de puesta en marcha se clasifican por orden decreciente de corriente media I_{med} y se asocian a las 73 celdas con mayor prioridad de descarga por orden decreciente de niveles de prioridad. Según un modo de realización, los últimos 26 números de puesta en marcha pueden clasificarse por orden decreciente de corriente media I_{med} y asociarse a las 26 celdas con menor prioridad de descarga por orden decreciente de niveles de prioridad. A modo de variante, los últimos 26 números de puesta en marcha pueden clasificarse por orden creciente de corriente media I_{med} y asociarse a las 26 celdas con mayor prioridad de carga por orden decreciente de niveles de prioridad.

[0056] La figura 8 es una figura análoga a similar a la figura 6 para un tercer ejemplo de curvas de evolución de la tensión U y de la corriente I . En el tercer ejemplo, la tensión U es sinusoidal y la corriente I está desfasada con respecto a la tensión en $n/4$ y contiene una fuerte componente armónica, en concreto de nivel 3. La figura 8 muestra la corriente media I_{med} suministrada por cada celda de la batería, ordenada según el número de puesta en marcha de la celda, siendo la celda número 1 la primera en conectarse, cuando la tensión nominal en los terminales de cada celda es igual a 3 V (histograma en la parte central) y cuando la tensión nominal en los terminales de cada celda es igual a 2 V (histograma en la parte inferior).

[0057] Como se observa en la figura 8, el número total de celdas puestas en marcha para seguir la consigna de tensión U es mayor si las celdas se cargan a 2 V en lugar de a 3 V.

[0058] La figura 9 es una figura análoga a similar a la figura 6 para un cuarto ejemplo de curvas de evolución de la tensión U y de la corriente I . En el cuarto ejemplo, la tensión U es sinusoidal y la corriente I está en fase con la tensión y contiene una fuerte componente armónica, en concreto de nivel 3. Además, la batería comprende al menos 125 celdas, cada una de ellas adaptada para suministrar 2,6 V. En el cuarto ejemplo, la batería se está cargando en su conjunto, en la medida en que la energía absorbida por las 92 primeras celdas puestas en marcha, que de media se están cargando, es superior a la energía suministrada por las 33 celdas siguientes, que de media se están descargando. En el cuarto ejemplo, cuando la batería se está cargando en su conjunto, los primeros 92 números de puesta en marcha se clasifican por orden de corrientes medias crecientes (teniendo en cuenta el signo) y se asocian a las 92 celdas con la mayor prioridad en la carga, y los últimos 33 números de puesta en marcha pueden clasificarse por orden de corrientes medias creciente y asociarse a las 33 celdas con la menor prioridad en la carga. A modo de variante, los últimos 33 números de puesta en marcha pueden clasificarse por orden de corrientes medias decreciente y asociarse a las 33 celdas con mayor prioridad en la descarga.

[0059] Si la batería contiene más de 125 elementos, por ejemplo 160 celdas, las celdas de la 126 a la 160 no se utilizarán durante este periodo eléctrico y, en concreto, hasta que se defina una nueva tabla de selección (en la etapa 14). La definición de una nueva tabla de selección, desencadenada, por ejemplo, por una nueva determinación de la tabla de prioridad, por ejemplo, como resultado de una descarga no simétrica de la celda, en la etapa 10, puede cambiar la prioridad de las celdas, y una celda que no se haya utilizado a lo largo del periodo anterior puede utilizarse después, porque se le puede dar mayor prioridad en la nueva tabla de selección.

[0060] La distribución real de corriente por número de puesta en marcha no suele corresponder exactamente a la distribución ideal de corriente que sería necesaria por celda para garantizar un equilibrado perfecto (en particular, una corriente proporcional a la capacidad restante en la carga o la descarga). En la práctica, para que cada celda reciba finalmente una corriente media relativa óptima, las celdas cambian regularmente de prioridad y, por lo tanto, en definitiva, de número de puesta en marcha a fin de converger a lo largo de un periodo prolongado, normalmente de 10 a 100 veces mayor que la ventana de análisis, hacia un valor de corriente media relativa cercano al valor ideal.

Normalmente, a menos que falle una celda, no hay ninguna razón por la que una celda que no se haya puesto en marcha a lo largo de un periodo eléctrico no pueda ser puesta en marcha a lo largo de otro periodo eléctrico.

- 5 **[0061]** En los modos de realización descritos anteriormente, se ha utilizado la regla de desconexión, según la cual la primera celda que se conecta es la última que se desconecta, siendo esta regla denominada en lo sucesivo regla FILO (sigla inglesa para *First In Last Out*). No obstante, se puede utilizar otra regla de desconexión. A modo de ejemplo, se puede utilizar la regla de conexión, según la cual la primera celda que se conecta es la primera celda que se desconecta, siendo esta regla denominada en lo sucesivo regla FIFO (sigla inglesa para *First In First Out*).
- 10 **[0062]** La figura 10 es una figura análoga a la figura 1 en el caso en el que se utiliza una regla de desconexión FIFO. Las celdas se desconectan según un orden diferente en la figura 10 que en la figura 1, por lo que reciben una corriente media diferente, lo que modifica la distribución de las corrientes medias en función de los números de puesta en marcha.
- 15 **[0063]** La figura 11 es una figura análoga a similar a la figura 6 para un quinto ejemplo de curvas de evolución de la tensión U y de la corriente I. En el quinto ejemplo, la tensión U es sinusoidal y la corriente I está desfasada con respecto a la tensión en π y contiene una fuerte componente armónica, en concreto de nivel 3. Además, la batería comprende al menos 108 celdas cada una de ellas adaptada para suministrar 3 V. La figura 11 muestra la corriente media I_{med} suministrada para cada celda de la batería, ordenada de 1 a 108 según el número de puesta en marcha de la celda, siendo la celda número 1 la primera en conectarse, cuando se aplica la regla de conexión FILO (histograma en la parte central) y cuando se aplica la regla de conexión FIFO (histograma en la parte inferior).
- 20 **[0064]** Según un modo de realización, al implementar el procedimiento descrito anteriormente en relación con la figura 5, en la etapa 12, la distribución de las corrientes media se determina cuando se utiliza una primera regla de desconexión, por ejemplo, la regla FILO, y se realiza una primera clasificación de los números de puesta en marcha. La distribución de las corrientes media también se determina cuando se utiliza una segunda regla de desconexión, por ejemplo, la regla FIFO, y se realiza una segunda clasificación de los números de puesta en marcha. En la etapa 14, se utiliza a continuación un criterio de comparación para seleccionar la primera o la segunda clasificación, que se utilizará para determinar el cuadro de selección. A modo de ejemplo, se pueden estimar las corrientes ideales por celda lo que permite conseguir o mantener celdas equilibradas y ordenar las celdas según este criterio, por ejemplo, en valor decreciente de las corrientes ideales, para obtener una tercera clasificación. A continuación, la tercera clasificación puede compararse con la primera y la segunda clasificación, y la clasificación seleccionada de entre la primera o la segunda clasificación puede ser la más "próxima" a la tercera clasificación. A modo de ejemplo, los valores de corriente de las clasificaciones primera, segunda y tercera pueden normalizarse, por ejemplo, para que el valor medio de la corriente de cada clasificación sea igual a la unidad. Para cada posición, el valor de corriente ideal, dado el caso normalizado, puede compararse con los valores de corriente, dado el caso normalizados, de la primera clasificación y la segunda clasificación. La clasificación seleccionada de entre la primera clasificación o la segunda clasificación puede ser aquella para la que las diferencias entre los valores de corriente ideal y los valores de corriente de la primera o segunda clasificación sean menores, permitiendo al mismo tiempo que se llegue al equilibrado de las celdas o, en su defecto, lo más cerca posible de ello.
- 25 **[0065]** La figura 12 es una figura análoga a similar a la figura 11 para un sexto ejemplo de curvas de evolución de la tensión U y de la corriente I. En el sexto ejemplo, la tensión U es sinusoidal y la corriente I está desfasada en $2\pi/3$ con respecto a la tensión U y contiene una fuerte componente armónica, en concreto de nivel 3. Además, la batería comprende al menos 108 celdas, cada una de ellas adaptada para suministrar 3 V. La distribución de las corrientes medias I_{med} cuando se aplica la regla de desconexión FILO (histograma en la parte central) es muy diferente de la distribución de las corrientes medias I_{med} cuando se aplica la regla de desconexión FIFO (histograma en la parte inferior).
- 30 **[0066]** La figura 13 es una figura análoga a similar a la figura 11 para un séptimo ejemplo de curvas de evolución de la tensión U y de la corriente I. En el séptimo ejemplo, la tensión U es sinusoidal y la corriente I está desfasada en $\pi/2$ con respecto a la tensión. Además, la batería comprende al menos 108 celdas cada una de ellas adaptada para suministrar 3 V. Cuando se aplica la regla de desconexión FILO (histograma en la parte central), cada celda experimenta una pequeña carga y una pequeña descarga, en cada periodo, de modo que la corriente media intercambiada por la celda es cero al final de cada período. Cuando se aplica la regla de conexión FIFO (histograma en la parte inferior), la mitad de las celdas recibe una corriente media positiva (de descarga) y la otra mitad recibe una corriente media negativa (de carga).
- 35 **[0067]** Se han descrito modos de realización particulares de la presente invención. El experto en la técnica apreciará diversas variantes y modificaciones. Aunque la figura 3 representa un modo de realización de la disposición de las celdas y los interruptores de un módulo E_i, está claro que la estructura de cada módulo E_i puede ser diferente. En particular, la estructura de cada módulo E_i puede corresponder a una de las estructuras descritas en las solicitudes de patente WO 2012/117110, US2014287278, FR2972308, FR2972307 y US2014109950.
- 40 **[0068]** Cabe señalar que una celda puede ser un conjunto de celdas elementales colocadas en serie y/o en paralelo. Si se trata de un conjunto de celdas elementales, se puede utilizar un circuito de gestión anexo, por ejemplo, para

medir las tensiones/temperaturas de las celdas elementales o incluso para garantizar su equilibrado. Este conjunto de celdas elementales forma una celda con un determinado estado general, por ejemplo, un estado de carga, una temperatura cuyo valor puede deducirse de los estados de las celdas elementales que componen la celda. La invención tiene por objeto, entre otras cosas, gestionar la corriente media relativa que fluye a través de cada celda.

5 [0069] Cabe señalar que, en los ejemplos descritos anteriormente, se presentaron, sobre todo, casos de equilibrado en vista de las diferencias en las características de las celdas y los perfiles de corriente/tensión que han de suministrarse en la salida. En la práctica, pueden conectarse cargas eléctricas secundarias a determinadas celdas o a los terminales de determinados grupos de celdas. En este caso, el equilibrado según la invención no solo tiene la función de compensar los desequilibrios en la capacidad de las celdas, sino también de compensar los desequilibrios inducidos por las distintas corrientes de fuga asociadas a las cargas secundarias. Normalmente, algunas celdas pueden alimentar la electrónica de mando, la electrónica de medición, otras pueden alimentar la red de a bordo de un vehículo, por ejemplo, o incluso otras, alimentar distintos accesorios con diferentes tensiones. Estas cargas secundarias no se ocupan de mantener las celdas equilibradas entre sí, por lo que las celdas deben equilibrarse utilizando el principio de la invención cuando se alimenta la carga principal o durante la recarga.

10 [0070] Un caso particular corresponde a un dispositivo compuesto por módulos colocados en serie, permitiendo cada uno de los módulos conmutar las celdas en serie/paralelo, del modo en que se describe en la patente US20142872780. Cada uno de los módulos permite gestionar 4 celdas, por ejemplo, estas 4 celdas están separadas en dos bloques de 2 celdas, pudiendo colocarse los dos bloques en serie o en paralelo y pudiendo colocarse las celdas en el interior de los dos bloques a su vez en serie/paralelo, pudiendo cada una de las celdas, por lo demás, desconectarse por completo. Sea I la corriente principal que sale del paquete de batería, entonces cada celda recibirá una corriente sustancialmente de I , $I/2$, $I/3$, $I/4$ o cero dependiendo de si, respectivamente, están completamente en serie, 2 en paralelo, 3 en paralelo, 4 en paralelo o desconectadas. Para pasar de una tensión de cero a una alta tensión, por ejemplo, los módulos están inicialmente en derivación (estado 0), a continuación, se ponen en marcha progresivamente con sus 4 celdas en paralelo (estado 1), después los módulos presentan progresivamente en paralelo 2 x 2 celdas en serie (estado 2), después dos celdas en serie en serie con dos celdas en paralelo (estado 3) y, finalmente, las 4 celdas en serie (estado 4). Por número de puesta en marcha, puede considerarse, por ejemplo, que el número 1 corresponde a la celda que siempre es la primera en ser sometida a una mayor relación de corriente I . Es decir:

- el primer módulo que pasa del estado 0 al estado 1 contiene la celda de puesta en marcha número 1, el módulo m que pasa del estado 0 al estado 1 contiene la celda de puesta en marcha con el número de puesta en marcha más bajo de entre los módulos que aún no han pasado del estado 0 al estado 1.
- 35 • A continuación, el primer módulo que pasa del estado 1 al estado 2 es el que contiene la celda de puesta en marcha número 1. El módulo m que pasa del estado 1 al estado 2 contiene la celda de puesta en marcha con el número de puesta en marcha más bajo de entre los módulos que aún no han pasado del estado 1 al estado 2.
- A continuación, el primer bloque dentro de los módulos que presenta sus dos celdas en serie y en serie con el otro bloque del módulo es el que contiene la celda de puesta en marcha número 1. El bloque b , que pone sus dos celdas en serie y en serie con el otro bloque, contiene la celda de puesta en marcha con el número de puesta en marcha más bajo de entre los bloques que aún no han realizado el cambio. Cabe señalar que los bloques que no han realizado el cambio presentan o bien sus 2 celdas en paralelo, o bien, dado el caso, sus 2 celdas en serie si el otro bloque del módulo aún no ha cambiado y está colocado en paralelo con, a su vez, sus celdas en serie.

45 [0071] Esto corresponde a un funcionamiento nominal. Si alguna vez falla una celda, esta última deberá mantenerse siempre fuera de servicio y la(s) celda(s) adyacente(s) no podrá(n) colocarse en paralelo con ella, lo que necesariamente modificará el funcionamiento con respecto a este caso nominal. Por otra parte, para reforzar el equilibrado, las celdas con la prioridad más baja pueden mantenerse completamente fuera de servicio hasta que sean estrictamente útiles para suministrar tensión o, más bien, ponerse en marcha según la invención como en el caso ya especificado del dispositivo descrito en relación con las figuras 3 y 4.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control de un sistema eléctrico (5) que comprende terminales primero y segundo (P, N), celdas eléctricas (C_1, C_2, C_3, C_4), correspondiendo cada una de ellas a un elemento de almacenamiento de cargas eléctricas, e interruptores ($SW_{1,1}, SW_{2,1}, SW_3$) configurados para conectar o desconectar las celdas en serie y/o en paralelo entre los terminales primer y segundo (P, N), comprendiendo el procedimiento las siguientes etapas, para suministrar una tensión entre los terminales primero y segundo (P, N), o suministrar una corriente al primer terminal, o conectar varias celdas eléctricas, a fin de seguir una consigna:
- 10 a) determinar una primera tabla de prioridades que comprende primeros niveles de prioridad de las celdas para una operación de carga del sistema y una segunda tabla de prioridades que comprende segundos niveles de prioridad de las celdas para una operación de descarga del sistema, determinándose los primeros niveles de prioridad y los segundos niveles de prioridad, para cada celda, teniendo en cuenta al menos un criterio de entre los criterios escogidos del grupo que comprende el estado de carga de la celda, la temperatura de la celda, la capacidad de la celda, el estado de salud de la celda, la impedancia interna de la celda, la corriente que circula por el sistema, el tipo de celda y un nivel de urgencia;
- 15 b) determinar una secuencia de conexión de las celdas para seguir la consigna, estando las celdas ordenadas en la secuencia de conexión según números de puesta en marcha de las celdas en la secuencia de conexión, y determinar un dato representativo de la corriente media (Imed) o de la potencia eléctrica media intercambiada por cada celda a lo largo de una ventana de tiempo en función del número de puesta en marcha de la celda en la secuencia de conexión de las celdas;
- 20 c) determinar una clasificación de al menos una parte de los números de puesta en marcha de las celdas, realizándose la clasificación por orden creciente o decreciente de los datos representativos de la corriente media o la potencia eléctrica media;
- 25 d) asignar rangos a las celdas según el orden de clasificación, realizándose la asignación por orden creciente o decreciente de los niveles de prioridad de al menos una de las tablas de prioridades primera o segunda; y e) controlar los interruptores (SW) para conectar o desconectar las celdas según el orden de los rangos asignados.
2. Procedimiento de control según la reivindicación 1, que comprende, además, en la etapa e), recibir, por parte del sistema (5), una nueva consigna (C) y controlar los interruptores para conectar las celdas (C_1, C_2, C_3, C_4) según el orden de los rangos asignados.
3. Procedimiento de control según la reivindicación 1 o 2, en el que, en la etapa c), todas las celdas se clasifican por orden creciente o decreciente de los datos y en el que, en la etapa d), todos los rangos se asignan a las celdas (C_1, C_2, C_3, C_4) por orden creciente o decreciente de los niveles de prioridad de una de las tablas de prioridades primera o segunda.
4. Procedimiento de control según la reivindicación 1 o 2, en el que los datos pueden tener un primer signo o un segundo signo opuesto al primer signo, comprendiendo el procedimiento, en la etapa c), determinar una primera clasificación de las celdas por orden creciente o decreciente de los datos del primer signo y determinar una segunda clasificación de las celdas por orden creciente o decreciente de los datos del segundo signo, comprendiendo el procedimiento, además, en la etapa d), asignar rangos según el orden de la primera clasificación a las celdas por orden creciente o decreciente de los niveles de prioridad de la primera tabla de prioridades y asignar rangos según el orden de la segunda clasificación a las celdas por orden creciente o decreciente de los niveles de prioridad de la segunda tabla de prioridades.
5. Procedimiento de control según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que las celdas se desconectan según una de al menos dos reglas de desconexión, en el que las etapas b) y c) se realizan para cada regla de desconexión, comprendiendo el procedimiento, para la aplicación de la etapa d), seleccionar una primera clasificación obtenida con la primera regla de desconexión o una segunda clasificación obtenida con la segunda regla de desconexión en función de la comparación de los datos de las clasificaciones primera y segunda con datos deseados.
6. Procedimiento de control según la reivindicación 5, en el que la primera regla de desconexión es que la primera celda (C_1, C_2, C_3, C_4) que se conecta es la última celda que se desconecta y en el que la segunda regla de desconexión es que la primera celda que se conecta es la primera celda que se desconecta.
7. Procedimiento de control según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la ventana temporal es inferior a 500 ms.
8. Procedimiento de control según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la primera tabla de prioridades se utiliza cuando el sistema está absorbiendo energía eléctrica procedente del exterior y en el que la segunda tabla de prioridades se utiliza cuando el sistema está suministrando energía eléctrica al exterior.
9. Procedimiento de control según la reivindicación 8, que comprende pasar del uso de la primera tabla de prioridades a la segunda tabla de prioridades cuando el sistema pasa de absorber energía eléctrica procedente del exterior a suministrar energía eléctrica al exterior y pasar del uso de la segunda tabla de prioridades a la primera tabla de

prioridades cuando el sistema pasa de suministrar energía eléctrica al exterior a absorber energía eléctrica procedente del exterior.

5 10. Sistema eléctrico (5) que comprende terminales primero y segundo (P, N), celdas eléctricas (C_1, C_2, C_3, C_4), correspondiendo cada una de ellas a un elemento de almacenamiento de cargas eléctricas, interruptores ($SW_{1,1}, SW_{2,1}, SW_3$) configurados para conectar o desconectar las celdas en serie y/o en paralelo entre los terminales primer y segundo (P, N) y un módulo de procesamiento (BMS) configurado, para suministrar una tensión entre los terminales primero y segundo (P, N), o suministrar una corriente al primer terminal, o conectar varias celdas eléctricas, a fin de seguir una consigna, para:

- 10
- 15
- 20
- 25
- a) determinar una primera tabla de prioridades que comprende primeros niveles de prioridad de las celdas para una operación de carga del sistema y una segunda tabla de prioridades que comprende segundos niveles de prioridad de las celdas para una operación de descarga del sistema, determinándose los primeros niveles de prioridad y los segundos niveles de prioridad, para cada celda, teniendo en cuenta al menos un criterio de entre los criterios escogidos del grupo que comprende el estado de carga de la celda, la temperatura de la celda, la capacidad de la celda, el estado de salud de la celda, la impedancia interna de la celda, la corriente que circula por el sistema, el tipo de celda y un nivel de urgencia;
 - b) determinar una secuencia de conexión de las celdas para seguir la consigna, estando las celdas ordenadas en la secuencia de conexión según los números de puesta en marcha de las celdas en la secuencia de conexión, y determinando datos representativos de la corriente media (I_{med}) o de la potencia eléctrica media intercambiada por cada celda a lo largo de una ventana de tiempo en función del número de puesta en marcha de la celda en la secuencia de conexión de las celdas;
 - c) clasificar al menos algunos de los números de puesta en marcha de las celdas por orden creciente o decreciente de los datos representativos de la corriente media o la potencia eléctrica media;
 - d) asignar rangos a las celdas según el orden de clasificación por orden creciente o decreciente de los niveles de prioridad de al menos una de las tablas de prioridades; y
 - e) controlar los interruptores (SW) para conectar o desconectar las celdas según el orden de los rangos asignados.

11. Sistema eléctrico según la reivindicación 10, en el que las celdas (C_1, C_2, C_3, C_4) son acumuladores eléctricos.

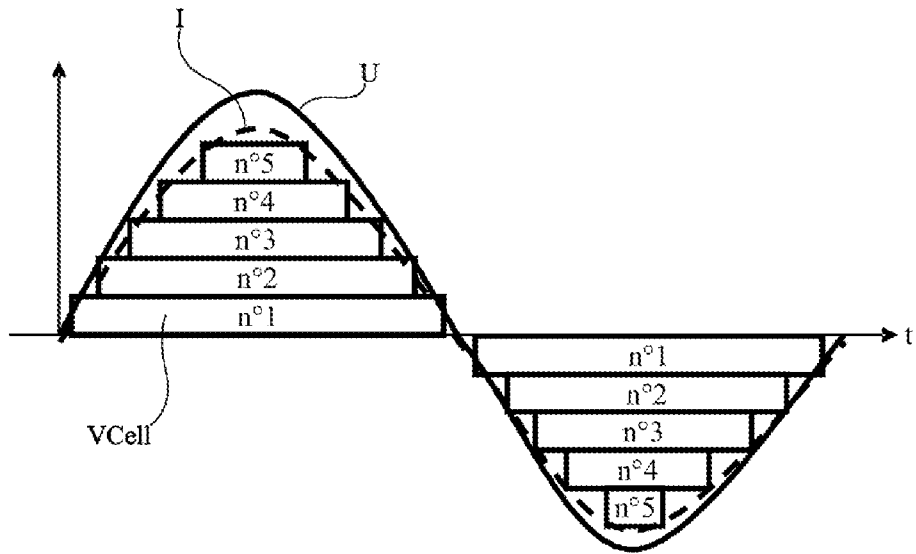


Fig 1

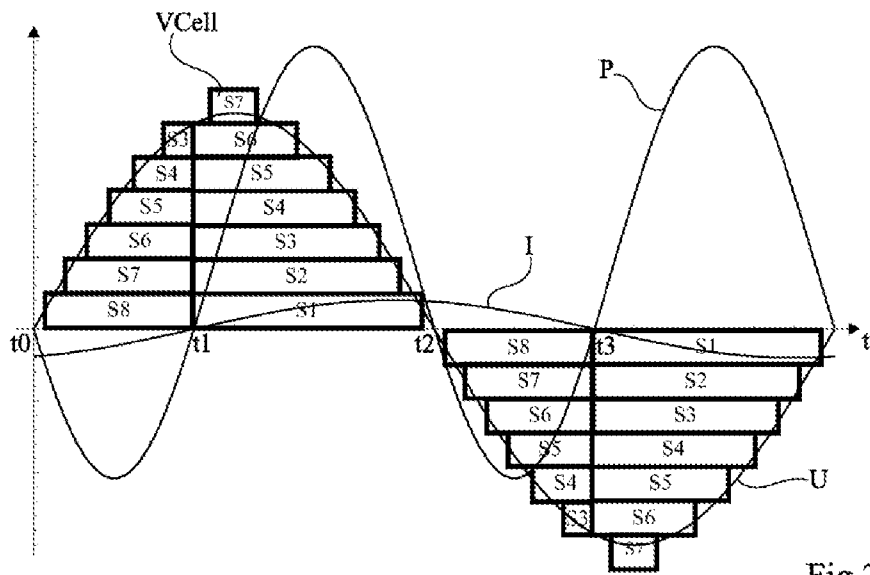


Fig 2

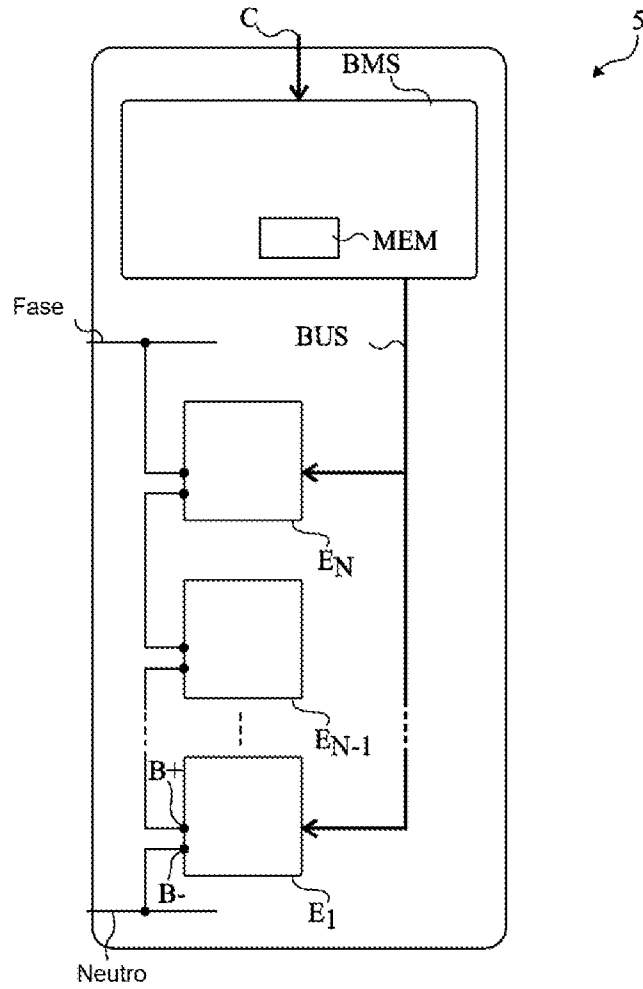


Fig 3

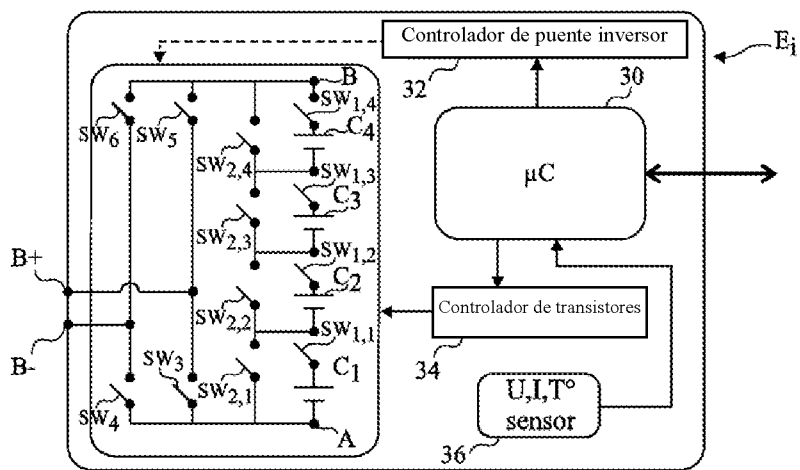


Fig 4

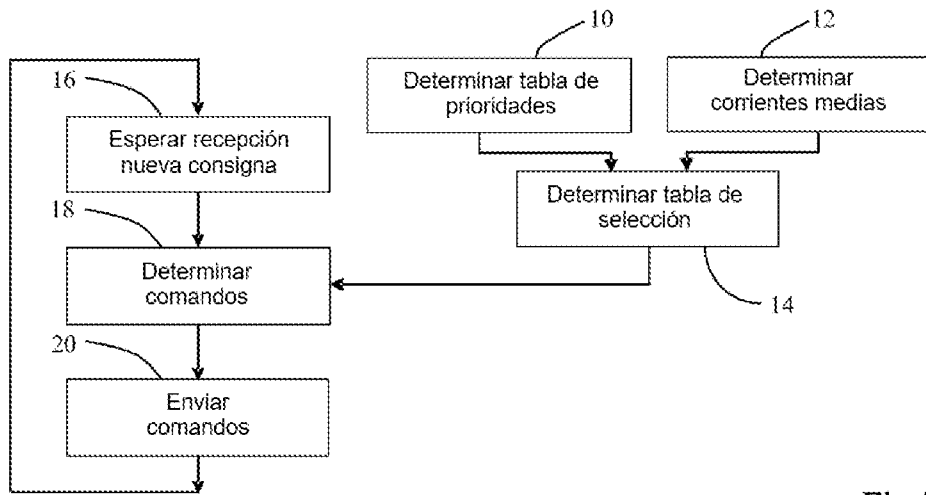


Fig 5

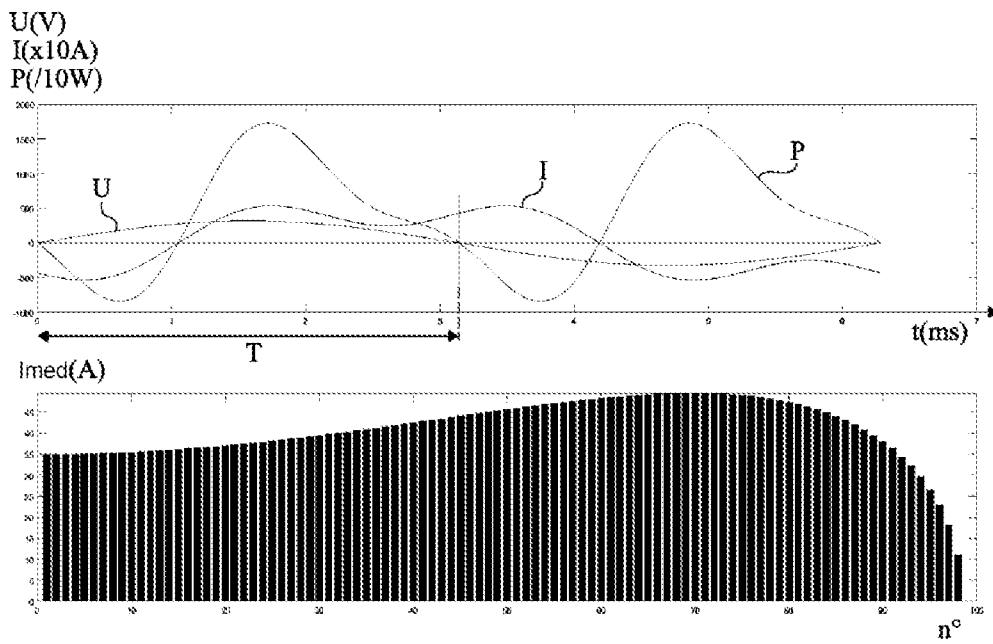


Fig 6

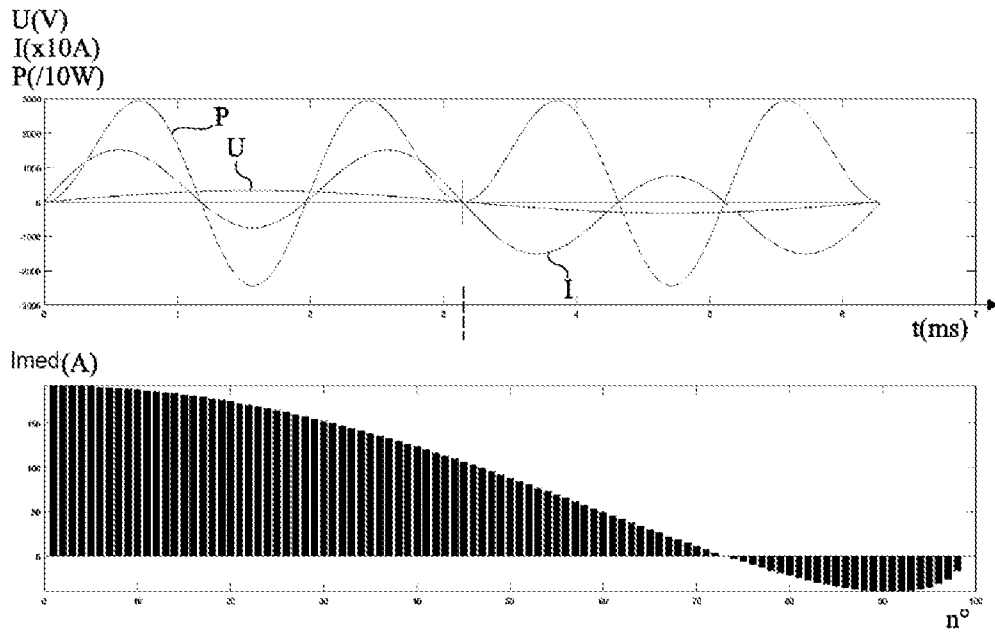


Fig 7

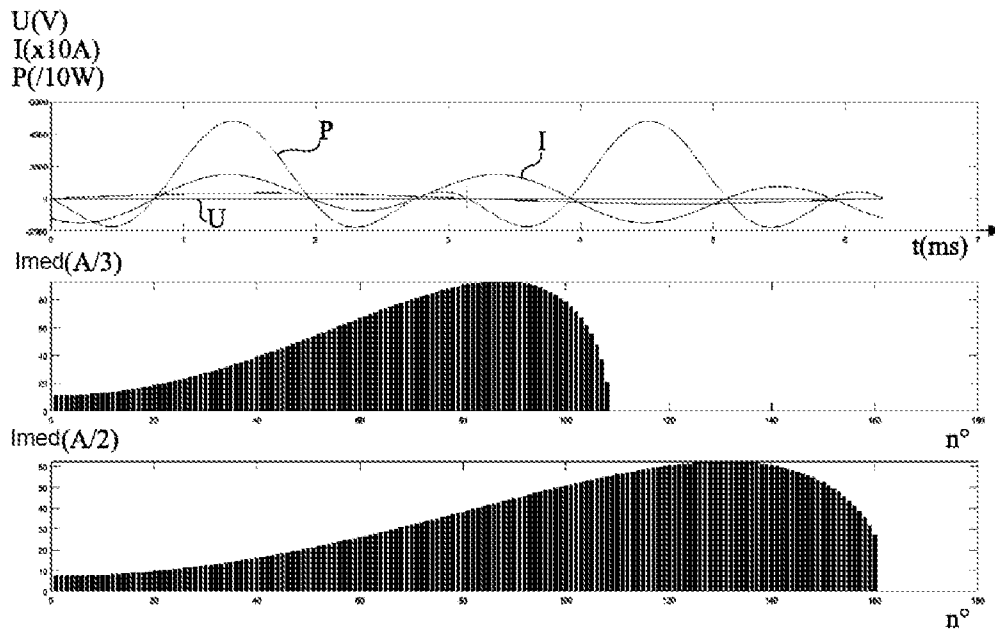


Fig 8

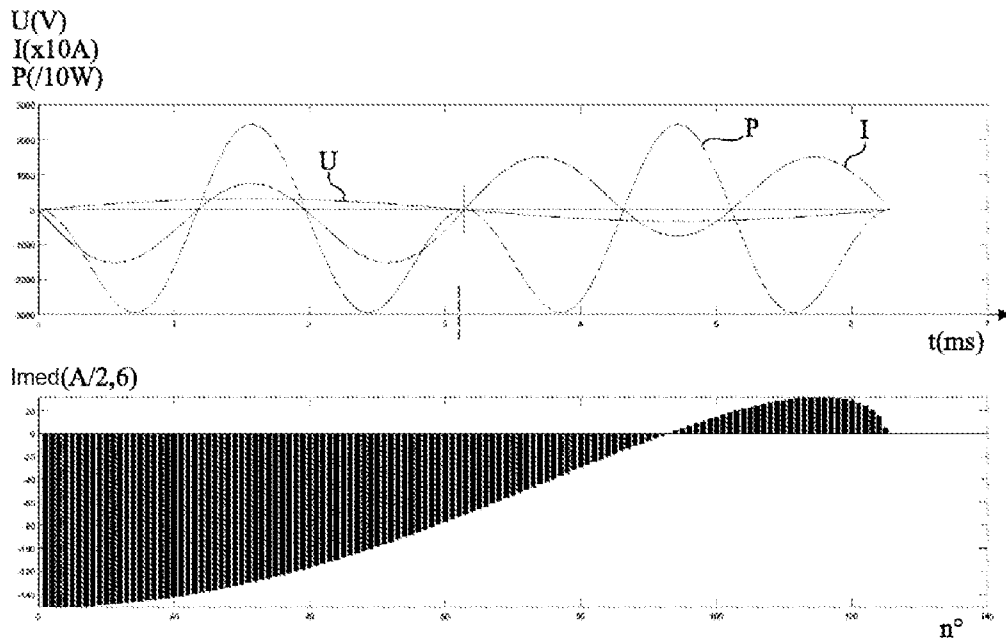


Fig 9

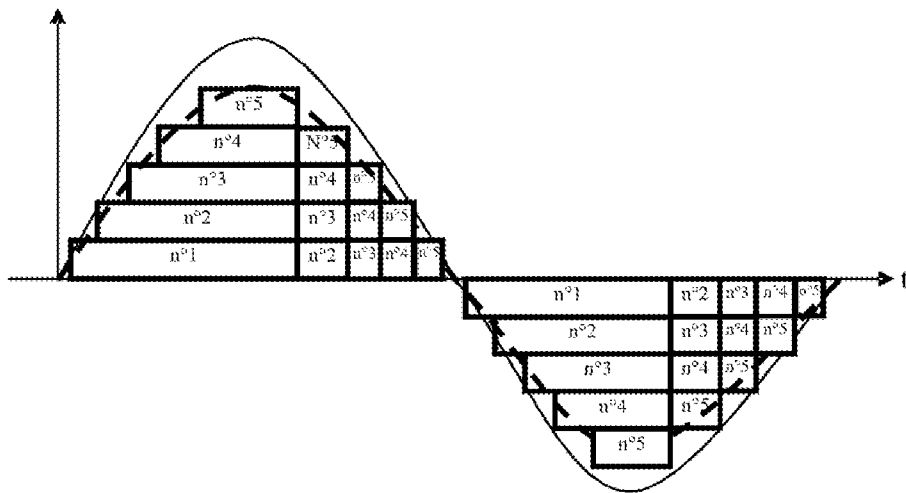


Fig 10

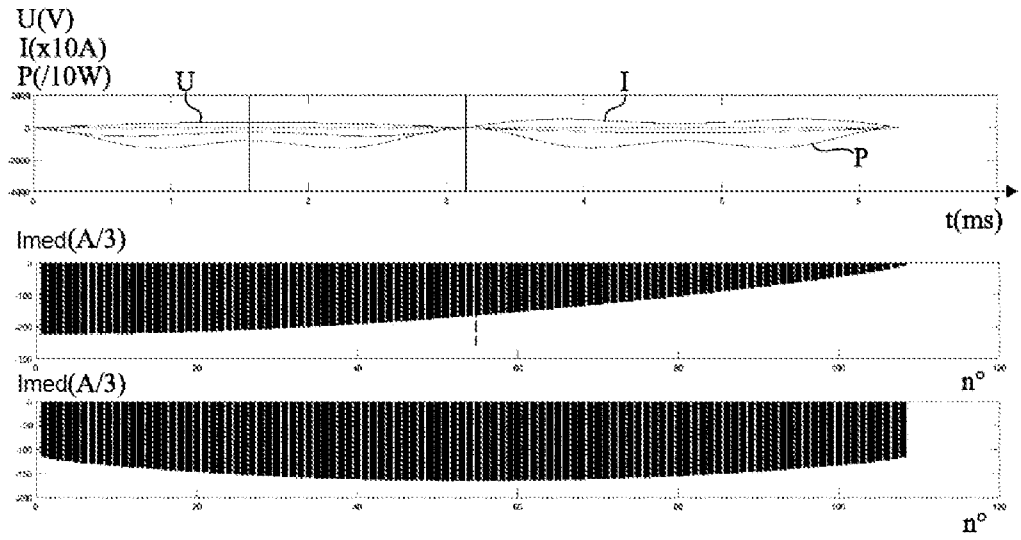


Fig 11

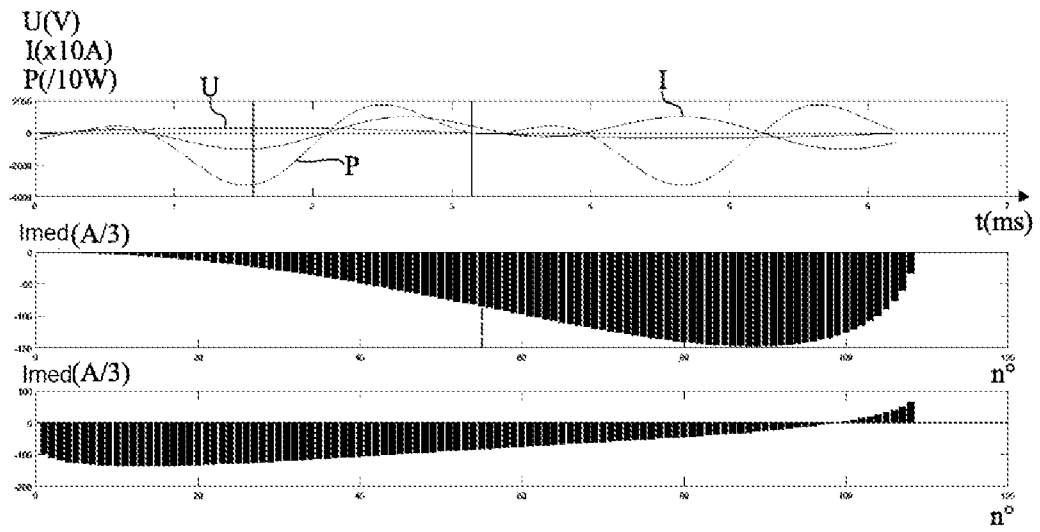


Fig 12

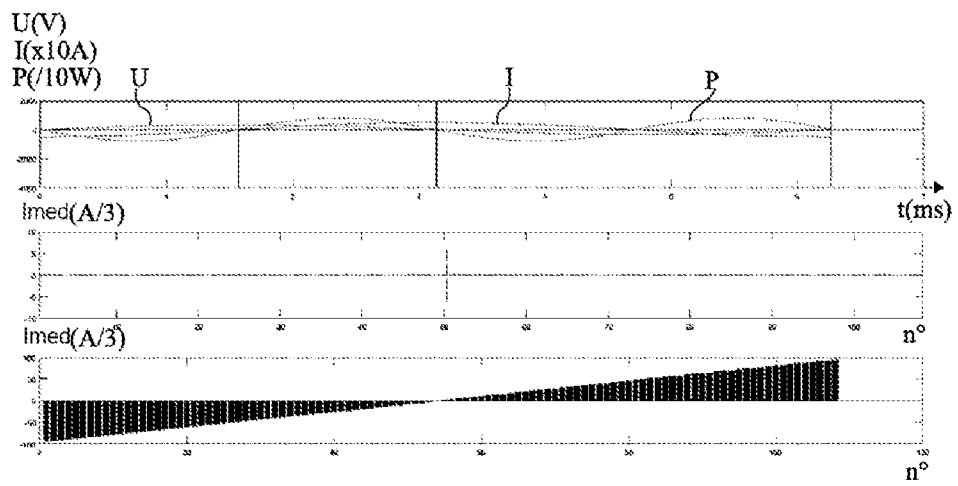


Fig 13