

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 964 186**

51 Int. Cl.:

H01M 8/18 (2006.01)
H01M 10/44 (2006.01)
H01M 10/48 (2006.01)
H01M 8/04 (2006.01)
H01M 8/04537 (2006.01)
H01M 8/24 (2006.01)
H01M 8/0444 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.07.2020** **PCT/US2020/044075**
87 Fecha y número de publicación internacional: **11.02.2021** **WO21025925**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.07.2020** **E 20757723 (0)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2023** **EP 4008037**

54 Título: **Conjuntos de baterías de flujo redox y procedimientos para equilibrar el estado de carga**

30 Prioridad:

02.08.2019 US 201962882071 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.04.2024

73 Titular/es:

**INVINITY ENERGY SYSTEMS (CANADA)
CORPORATION (100.0%)
1445 Powell Street
Vancouver, BC V5L 1G8, CA**

72 Inventor/es:

**KLASSEN, ANDREW;
GENDERS, DAVID y
HARPER, MATTHEW**

74 Agente/Representante:

ILLESCAS TABOADA, Manuel

ES 2 964 186 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

Conjuntos de baterías de flujo redox y procedimientos para equilibrar el estado de carga

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a conjuntos de baterías de flujo redox y a procedimientos para equilibrar el estado de carga de cadenas de unidades de batería de flujo en los conjuntos y de unidades de batería de flujo dentro de las cadenas.

Antecedentes

- 10 Las baterías de flujo redox, tales como las baterías de flujo redox de vanadio, siguen siendo prometedoras para almacenar grandes cantidades de energía eléctrica, como por ejemplo para aplicaciones de nivelación de carga. Convierten la energía eléctrica en energía química que se puede almacenar y, posteriormente, convertir en energía eléctrica que se libera cuando hay demanda. En funcionamiento, los electrolitos líquidos se suministran a una batería de flujo para convertir energía eléctrica en energía química o para convertir energía química en energía eléctrica que se puede descargar a través de una conexión eléctrica a una carga de potencia.

- 15 Una celda de batería de flujo redox individual comprende un ánodo y un cátodo separados mediante un separador. Un anolito o electrolito líquido negativo se suministra (fluye) desde un tanque de almacenamiento de anolito al ánodo y un catolito o electrolito líquido positivo se suministra (fluye) desde un tanque de almacenamiento de catolito al cátodo para excitar las reacciones redox electroquímicamente reversibles. El separador puede ser un separador microporoso o una membrana de intercambio iónico y separa los electrodos y evita que los electrolitos se mezclen, pero permite el paso de iones seleccionados para completar las reacciones redox. Tras permitir que se produzcan las reacciones redox, el anolito y el catolito se devuelven a sus respectivos tanques de almacenamiento. Por lo tanto, hacer funcionar una batería de flujo redox de este tipo requiere tanto un circuito de fluido de anolito como un circuito de fluido de catolito, cada uno de los cuales comprende una línea de suministro y una línea de retorno que conectan, respectivamente, los tanques de anolito y catolito con los ánodos y cátodos de la celda de batería de flujo. El estado de carga de la celda está determinado por la composición química o el estado del electrolito de dos partes, es decir, el anolito y el catolito.

- 25 En muchas aplicaciones y, en particular, en aplicaciones de nivelación de carga, se requieren numerosas celdas de batería de flujo para almacenar y/o suministrar cantidades significativas de energía y potencia, respectivamente. Típicamente, se emplean conjuntos de celdas grandes y complejos en los que las celdas están interconectadas en varias combinaciones en serie y en paralelo. De manera deseable, muchas celdas de batería de flujo individuales de estos conjuntos comparten un suministro común de anolito y catolito. En el presente documento, una combinación de celdas de este tipo se denomina unidad de batería de flujo. Las celdas de una unidad de batería de flujo pueden estar interconectadas en serie y/o en paralelo, pero todas comparten un suministro común de anolito y catolito. En consecuencia, todas las celdas de una unidad de batería de flujo se encuentran en el mismo estado de carga.

- 30 En conjuntos grandes, las unidades de batería de flujo pueden estar además, de manera deseable, interconectadas en cadenas en serie y/o paralelo de unidades de batería de flujo. Dichas cadenas de unidades de batería de flujo combinadas suministran y reciben potencia para su uso en la aplicación prevista por medio de un convertidor o convertidores de potencia bidireccionales controlables (por ejemplo, convertidores CC/CC y/o CA/CC para incrementar la CC operativa a típicamente > 800 V para la conexión con convertidores CA/CC comerciales).

- 35 Hasta ahora, las unidades de batería de flujo con suministros de electrolito comunes y compartidos no se han usado eficazmente en disposiciones eléctricas en serie y/o en paralelo debido a la incapacidad de gestionar de manera eficaz y rentable el equilibrado de capacidad entre todas ellas. En un enfoque anterior, el voltaje máximo de celdas conectadas en serie dentro de una unidad de batería de flujo se podía limitar típicamente a < 400 VCC para minimizar las pérdidas por derivación y maximizar la eficacia energética de ciclo completo. En otro enfoque, lo anterior se puede emplear junto con el uso de un convertidor CC/CC bidireccional en cada unidad de batería de flujo para controlar el flujo de corriente a cada unidad de batería de flujo de manera individual para igualar y equilibrar la capacidad entre todas las unidades de batería de flujo de una cadena, mientras se incrementa el voltaje de CC a > 800 V para la conexión con convertidores CA/CC comerciales. Aún más, lo anterior se puede emplear junto con el uso de contactores eléctricos para encender y apagar algunos apilamientos de celdas conectados en serie en determinadas unidades de batería de flujo, variando por tanto la corriente de carga/descarga en etapas discretas para equilibrar la capacidad. Los convertidores CC/CC se pueden seguir usando como antes para gestionar el flujo de corriente e incrementar el voltaje.

- 40 Incrementar el voltaje de los apilamientos de celdas en serie dentro de una unidad de batería de flujo individual incrementa el coste del sistema, ya que las medidas de mitigación de derivaciones (canales de flujo más largos y delgados entre las celdas y los apilamientos, mayor potencia de bombeo requerida para el anolito/catolito fluido, etc.) incrementan el coste y reducen la eficacia general.

Desafortunadamente, todos los enfoques anteriores limitan el voltaje de CC máximo producido por cada unidad de batería de flujo, lo que dificulta la integración de las baterías de flujo con el requisito de conexión CC de > 800 V de

los convertidores CA/CC de última generación. El uso de numerosos convertidores CC/CC en los circuitos principales de flujo de potencia aumenta el coste y reduce la eficacia general de ciclo completo del sistema, reduciendo por tanto el rendimiento máximo y los beneficios que se podrían obtener con las baterías de flujo. Además, el uso de múltiples contactores para encender/apagar los apilamientos es costoso. Los contactores también tienen una vida útil corta cuando se activan bajo carga y los apilamientos de celdas seguirán descargando electrolito dentro del/de los apilamiento(s), lo que reducirá la eficacia del sistema.

Aún en otro enfoque, el equilibrado de capacidad dentro de cadenas en serie de unidades de batería de flujo se puede lograr usando subsistemas que detectan desequilibrios entre unidades de batería de flujo en la cadena y que, a continuación, ajustan el estado de carga en una unidad o unidades de manera apropiada interconectando y mezclando de manera fluida una porción del tanque de anolito y del tanque de catolito para reducir el estado de carga hasta un objetivo común (similar a usar una resistencia de purga para descargar las celdas dentro de esa unidad). Obviamente, dichos subsistemas añaden un coste y una complejidad indeseables.

El documento EP-325 8526-A1 divulga un sistema de batería de flujo redox que incluye bombas que ponen en circulación y suministran electrolitos a una celda de batería, una unidad de control de bomba que controla el caudal de las bombas, una unidad de medición de SOC que mide el estado de carga de los electrolitos y una unidad de medición de voltaje terminal que mide el voltaje terminal de la celda de batería. El documento US-2005/158614-A1 divulga un sistema de almacenamiento de energía que incluye una batería redox de vanadio que interactúa con un sistema de control para optimizar el rendimiento y la eficacia.

Si bien se han producido muchos avances en el desarrollo de conjuntos prácticos de baterías de flujo redox para aplicaciones comerciales a gran escala, todavía existe la necesidad de una mayor simplificación, eficacia y reducción de costes. Sería especialmente útil proporcionar mejoras en el equilibrado del estado de carga y el equilibrado de la capacidad de almacenamiento de energía en cadenas en serie y en paralelo de unidades de batería de flujo. La presente invención aborda estas necesidades y proporciona otros beneficios como se describe a continuación.

Sumario

La presente invención divulga conjuntos de baterías de flujo redox mejorados y procedimientos para equilibrar el estado de carga dentro de los conjuntos. El equilibrado de las cadenas de unidades de batería de flujo de los conjuntos que comprenden cadenas de unidades de batería de flujo en las que las unidades comparten un par electrolítico común se logra midiendo los estados de carga de los pares electrolíticos comunes involucrados y, a continuación, regulando apropiadamente el flujo en uno o más de los circuitos de anolito y catolito asociados. Los modos de realización requieren un dispositivo de medición del estado de carga, un regulador de flujo y un controlador pero, en general, un conjunto de la invención está sustancialmente simplificado en comparación con los enfoques de la técnica anterior. Por ejemplo, el presente conjunto de baterías de flujo redox solo requiere un convertidor de potencia bidireccional controlable para cada grupo de cadenas de unidades de batería de flujo conectadas eléctricamente en paralelo (es decir, puede carecer de cualquier convertidor de potencia bidireccional controlable adicional conectado eléctricamente a cualquiera de las cadenas de unidades de batería de flujo involucradas). Además, el conjunto puede carecer de cualquier subsistema, como en algunos enfoques de la técnica anterior, para interconectar y mezclar de manera fluida tanques de anolito y catolito para proceder al equilibrado del estado de carga. Específicamente, la invención se refiere a un conjunto de baterías de flujo redox que comprende al menos dos cadenas de unidades de batería de flujo conectadas eléctricamente en paralelo en las que cada cadena de unidades de batería de flujo comprende al menos una unidad de baterías de flujo. Dichas unidades de batería de flujo comprenden una cadena de baterías de flujo que comprende al menos una celda de batería de flujo. Sin embargo, la cadena de baterías de flujo puede comprender típicamente numerosas celdas interconectadas en combinaciones en serie y/o en paralelo. Cada celda comprende un ánodo, un cátodo y electrolitos de unidad de batería de flujo que comprenden un anolito y un catolito. La unidad de batería de flujo también comprende un tanque de anolito y un tanque de catolito para almacenar, respectivamente, el anolito y el catolito del electrolito de unidad de batería de flujo. En algunos modos de realización se puede emplear más de un tanque tanto para el anolito como para el catolito. Sin embargo, de todos modos, el anolito y el catolito en una unidad de batería de flujo determinada es común a todas las celdas de esa unidad determinada. La unidad de batería de flujo también comprende un circuito de anolito que comprende una línea de suministro y una línea de retorno que conecta el tanque de anolito a los ánodos de las celdas de batería de flujo de la cadena de baterías de flujo y, de manera similar, un circuito de catolito que comprende una línea de suministro y una línea de retorno que conecta el tanque de catolito a los cátodos de las celdas de batería de flujo de la cadena de baterías de flujo. El conjunto de baterías de flujo comprende adicionalmente un convertidor de potencia bidireccional controlable conectado eléctricamente a cada una de las cadenas de unidades de batería de flujo involucradas. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, solo se requiere uno de dichos convertidores de potencia bidireccionales controlables para las cadenas de unidades de batería de flujo involucradas.

En la presente invención, cada unidad de batería de flujo comprende un dispositivo de medición del estado de carga capaz de medir el estado de carga del electrolito de unidad de batería de flujo de la unidad. Además, el conjunto comprende un regulador de flujo en al menos uno de los circuitos de anolito y catolito que regula el flujo de al menos uno del anolito y el catolito a través de los mismos en al menos una de las unidades de batería de flujo de las al menos dos cadenas de unidades de batería de flujo. Si bien esto puede permitir lograr un equilibrado aceptable en algunos

- modos de realización, en un modo de realización preferente se proporcionan reguladores de flujo en cada uno de los circuitos de anolito y catolito en cada una de las unidades de batería de flujo de cada una de las cadenas de unidades de batería de flujo involucradas. Adicionalmente, el conjunto también comprende un controlador con entradas conectadas a cada uno de los dispositivos de medición de estado de carga en las unidades de batería de flujo y con una salida conectada al regulador o reguladores de flujo involucrados. La salida del controlador controla el/los regulador(es) de flujo para regular el flujo de al menos uno del anolito y el catolito hacia los ánodos y cátodos de las celdas de batería de flujo de la cadena de baterías de flujo de acuerdo con los estados de carga de los electrolitos de unidad de batería de flujo de las unidades de batería de flujo y, de este modo, equilibrar el estado de carga de las al menos dos cadenas de unidades de batería de flujo.
- Los conjuntos de la invención pueden comprender una pluralidad de cadenas de unidades de batería de flujo conectadas eléctricamente en paralelo (es decir, más de al menos dos cadenas de unidades de batería de flujo). Además, las cadenas de unidades de batería de flujo involucradas pueden comprender dos o más unidades de batería de flujo conectadas eléctricamente en serie.
- Para medir la resistencia y/o las tasas de cambio de resistencia de las unidades de batería de flujo involucradas, se pueden incorporar sensores de voltaje a través de las unidades de batería de flujo y sensores de corriente proporcionados en serie con las mismas. Por tanto, la resistencia y las tasas de cambio de resistencia de las cadenas de unidades de batería de flujo pueden proporcionar entradas adicionales para controlar el conjunto de manera predictiva.
- En modos de realización que comprenden dos o más unidades de batería de flujo conectadas eléctricamente en serie en las cadenas de unidades de batería de flujo, se pueden emplear dispositivos de derivación de corriente adecuados para equilibrar las unidades dentro de las cadenas. Por ejemplo, para este propósito, cada una de las cadenas de unidades de batería de flujo puede comprender un dispositivo de derivación de corriente conectado eléctricamente en paralelo a una o más de las unidades de batería de flujo de estas cadenas.
- Se pueden considerar varios tipos de dispositivos para medir el estado de carga. En un enfoque deseable, se puede incorporar una celda de batería de flujo de referencia sin carga (circuito abierto) para cada unidad de batería de flujo que se alimenta con el mismo anolito y catolito suministrado a esa unidad. En este enfoque, un sensor de voltaje se conecta a través de la celda de batería de flujo de referencia para medir el voltaje de circuito abierto del electrolito que fluye hacia los apilamientos y, por lo tanto, el estado de carga, tanto de la celda de batería de flujo de referencia como de todas las celdas de la unidad de batería de flujo.
- En otros enfoques, el dispositivo de medición de estado de carga empleado puede ser un dispositivo colorimétrico o un dispositivo espectroscópico que accede ópticamente al electrolito de unidad de batería de flujo (por ejemplo, por medio de una ventana adecuada en los circuitos o tanques de anolito y catolito) que, como se sabe en la técnica, se puede usar para determinar el estado de carga del electrolito. De forma alternativa, se pueden emplear dispositivos potenciométricos distintos de la celda de referencia anterior para medir el estado de carga del anolito y catolito por separado respecto a un electrodo de referencia común (por ejemplo, calomelano saturado, cloruro de plata, etc.), contribuyendo cada uno a determinar el estado de carga total.
- La invención es adecuada para su uso en conjuntos de baterías de flujo redox en general pero, en particular, en conjuntos que comprenden baterías de flujo redox de vanadio. Además, la invención es adecuada para su uso en aplicaciones que implican un único conjunto o en aplicaciones más grandes, incluso más complejas, que comprenden más de un conjunto de la invención.
- El equilibrado del estado de carga de las cadenas de unidades de batería de flujo en los conjuntos de baterías redox antes mencionados se puede lograr por medio de un procedimiento que comprende las etapas de, mediante el uso del dispositivo de medición de estado de carga, medir los estados de carga del electrolito de unidad de batería de flujo de la unidad de batería de flujo en cada una de las al menos dos cadenas de unidades de batería de flujo; introducir los estados de carga medidos en el controlador; mediante el uso del controlador, determinar una señal de control para regular el flujo de al menos uno del anolito y el catolito hacia los ánodos y cátodos de las celdas de batería de flujo de la al menos una de las unidades de batería de flujo de acuerdo con los estados de carga de los electrolitos de unidad de batería de flujo de las unidades de batería de flujo para equilibrar el estado de carga de las al menos dos cadenas de unidades de batería de flujo; y enviar la señal de control al regulador de flujo.
- En modos de realización en los que cada una de las unidades de batería de flujo comprende una celda de referencia sin carga y un sensor de voltaje como se describe anteriormente, la etapa de medir los estados de carga puede comprender medir los voltajes de circuito abierto de las celdas de batería de flujo de referencia sin carga.
- En modos de realización en los que cada una de las cadenas de unidades de batería de flujo comprende al menos dos unidades de batería de flujo conectadas eléctricamente en serie y cada una de las cadenas de unidades de batería de flujo comprende un dispositivo de derivación de corriente conectado eléctricamente en paralelo a al menos una de las unidades de batería de flujo de las cadenas de unidades de batería de flujo, el equilibrado de los estados de carga entre unidades de batería de flujo dentro de las cadenas de unidades de batería de flujo se puede lograr desviando una fracción de la corriente total a través de uno o más de los dispositivos de derivación de corriente.

A diferencia de algunos enfoques de la técnica anterior, una ventaja de la presente invención es que las etapas para equilibrar el estado de carga se pueden realizar cuando el conjunto se está cargando o descargando por medio del convertidor de potencia bidireccional controlable. Además, no es necesario realizar el procedimiento en todos esos momentos, sino quizás solo cuando los electrolitos de unidad de batería de flujo están en un estado de carga bajo o alto.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra un esquema de un modo de realización simple de la invención que comprende dos cadenas de unidades de batería de flujo conectadas eléctricamente en paralelo en las que solo hay una unidad de batería de flujo en cada cadena y una celda de batería de flujo en cada unidad.

La figura 2 muestra un esquema de un modo de realización de la invención que comprende n cadenas de unidades de batería de flujo conectadas eléctricamente en paralelo en las que hay al menos una unidad de batería de flujo en cada una de las N cadenas. Sensores de voltaje y corriente opcionales se proporcionan en la figura 2.

La figura 3 muestra un esquema de un modo de realización de la invención que comprende dos cadenas de unidades de batería de flujo conectadas eléctricamente en paralelo en las que hay n unidades de batería de flujo en cada cadena. Se proporciona un dispositivo de derivación de corriente a través de la primera unidad de batería de flujo en cada una de las cadenas.

La figura 4 muestra un esquema de un modo de realización de la invención que comprende dos cadenas de unidades de batería de flujo conectadas eléctricamente en paralelo en las que hay n unidades de batería de flujo en cada cadena. Dispositivos de derivación de corriente y sensores de voltaje se proporcionan a través de cada unidad de batería de flujo de cada una de las cadenas, y sensores de corriente se proporcionan en serie con las cadenas.

La figura 5 muestra un esquema de un modo de realización complejo de la invención adecuado para su uso en aplicaciones comerciales de potencia de CA. El modo de realización mostrado comprende N' conjuntos de baterías de flujo de la invención conectados eléctricamente en paralelo. Los conjuntos comprenden N cadenas de unidades de batería de flujo conectadas eléctricamente en paralelo y n unidades de batería de flujo en cada una de las cadenas de unidades de batería de flujo. Como se muestra, se proporcionan dispositivos de derivación de corriente a través de cada unidad de batería de flujo.

Descripción detallada

A menos que el contexto requiera lo contrario, a lo largo de esta memoria descriptiva y reivindicaciones, las palabras "comprender", "que comprende" y similares deben interpretarse en un sentido abierto e inclusivo. Se debe considerar que las palabras "un", "una" y similares significan al menos uno y no se limitan a solo uno.

En el presente documento, el término "cadena" se usa para hacer referencia a combinaciones de elementos que están interconectados eléctricamente en configuraciones tanto en serie como en paralelo.

Con respecto a las baterías de flujo redox, el estado de carga depende del estado del electrolito de batería de flujo. Debido a que el electrolito comprende tanto un anolito como un catolito, el estado de carga total depende, por tanto, de los estados combinados del anolito y el catolito.

En la siguiente descripción, los conjuntos de baterías de flujo redox se denotan con las letras AR y se numeran de 1 a N' (por ejemplo, AR1, AR2,...ARN'). Las cadenas de unidades de batería de flujo se denotan con la letra S y se numeran de la A a la N (por ejemplo, SA, SB,... SN). Las unidades de batería de flujo se denotan de acuerdo con la cadena de unidades en la que aparecen y están numeradas de 1 a n (por ejemplo, A1, B3, N1, Nn, etc.).

La figura 1 representa un esquema de un modo de realización simple del conjunto de baterías de flujo redox AR1 de la invención, que solo comprende dos cadenas de unidades de batería de flujo SA, SB conectadas eléctricamente en paralelo. En este caso solo hay una unidad de batería de flujo A1, B1 en cada cadena y solo una celda de batería de flujo 2a, 2b en cada unidad. Cada celda comprende un ánodo 3a, 3b, un cátodo 4a, 4b y un electrolito de unidad de batería de flujo que comprende un anolito 5a, 5b y un catolito 6a, 6b. Se proporcionan tanques de anolito 7a, 7b y tanques de catolito 8a, 8b para el almacenamiento de anolitos 5a, 5b y catolitos 6a, 6b, respectivamente, para cada electrolito de unidad de batería de flujo del conjunto. (Nota: en algunos modos de realización, se puede emplear más de un tanque para almacenar un suministro común de anolito o un suministro común de catolito). Sin embargo, cada celda de una unidad de batería de flujo determinada comparte un suministro común de anolito y un suministro común de catolito. En consecuencia, cada celda de esa unidad de batería de flujo determinada también comparte el mismo estado de carga). Además, se proporcionan circuitos de anolito 9a, 9b que comprenden líneas de suministro 10a, 10b y líneas de retorno 11a, 11b para conectar los respectivos tanques de anolito 7a, 7b con el/los ánodo(s) de celda 3a, 3b de una o más celdas. De manera similar, se proporcionan circuitos de catolito 12a, 12b que comprenden líneas de suministro 13a, 13b y líneas de retorno 14a, 14b para conectar tanques de catolito 8a, 8b con el/los cátodo(s) de celda 4a, 4b de una o más celdas. Un convertidor de potencia bidireccional controlable 16 está conectado eléctricamente a cada cadena de unidades de batería de flujo SA, SB y proporciona una conversión apropiada de potencia desde o

hacia el conjunto durante la descarga o carga, respectivamente, del conjunto. El convertidor 16 puede funcionar en modo voltaje, corriente o potencia en cualquier momento y puede ser un convertidor CC/CC o CC/CA.

En la presente invención, se proporcionan dispositivos de medición de estado de carga (SOC) 17a, 17b para medir el estado de carga de cada electrolito de unidad de batería de flujo. También se proporciona un regulador de flujo en al menos uno de los circuitos de anolito y catolito para regular el flujo de al menos uno del anolito y el catolito a través de los mismos. En la figura 1, se muestran reguladores de flujo 18 en cada línea de suministro de anolito 10a, 10b y cada línea de suministro de catolito 13a, 13b de cada una de las unidades de batería de flujo A1, B1. También se proporciona un controlador 19 para supervisar los estados de carga y controlar los reguladores de flujo 18. En consecuencia, el controlador 19 tiene entradas 20a, 20b (mostradas como líneas discontinuas en esta figura) conectadas a cada uno de los dispositivos de medición de estado de carga 17a, 17a y salidas 21a, 21a (mostradas como líneas discontinuas en esta figura) conectadas a reguladores de flujo 18. Las salidas 21a, 21b del controlador 19 controlan los reguladores de flujo 18 para regular los flujos de anolitos 5a, 5b y catolitos 6a, 6b hacia los ánodos 3a, 3b y los cátodos 4a, 4b de celdas de batería de flujo 2a, 2b de acuerdo con los estados de carga de los electrolitos de unidad de batería de flujo de las unidades de batería de flujo A1, B1. Ajustando estos flujos, la resistencia de las celdas de las unidades de batería de flujo y, por tanto, la resistencia de las propias unidades de batería de flujo, se puede incrementar o disminuir activamente según sea necesario para equilibrar adecuadamente el estado de carga de las cadenas de unidades de batería de flujo. Específicamente, usando los dispositivos de medición de estado de carga, se miden los estados de carga de los electrolitos de unidad de batería de flujo. A continuación, los estados de carga medidos se introducen en el controlador y, mediante el uso del controlador, se determinan señales de control apropiadas para regular el flujo de los anolitos y catolitos para dar como resultado un equilibrado del estado de carga en las cadenas de unidades de batería de flujo y, a continuación, estas señales de control se envían a los reguladores de flujo.

También se puede obtener información adicional acerca del conjunto para perfeccionar el funcionamiento del controlador de estado de carga. Por ejemplo, también se puede determinar la tasa de cambio del estado de carga (denominada $d(\text{SOC})/dt$, donde SOC representa el estado de carga). Como se analiza a continuación, la resistencia de las unidades de batería de flujo individuales, junto con las tasas de cambio de resistencia de estas unidades, también se pueden determinar durante el funcionamiento (por ejemplo, mediante la inclusión apropiada de sensores de voltaje y corriente en el conjunto). A continuación, el controlador puede usar esta información para un control predictivo, más robusto y preciso del procedimiento de equilibrado del estado de carga.

En un modo de realización deseable, los dispositivos de medición de estado de carga usados en un conjunto de este tipo pueden comprender simplemente una celda de batería de flujo de referencia sin carga alimentada con el mismo anolito y catolito del electrolito de unidad de batería de flujo. La celda de referencia tendrá por tanto el mismo estado de carga que las celdas de esa unidad. Por tanto, un sensor de voltaje se conecta a través de la celda de batería de flujo de referencia para medir el voltaje de circuito abierto de la misma y, por tanto, el estado de carga de esa unidad de batería de flujo.

Sin embargo, en modos de realización alternativos, se pueden emplear otros dispositivos conocidos por los expertos en la técnica para medir el estado de carga. Para ello se puede usar, por ejemplo, un dispositivo colorimétrico o un dispositivo espectroscópico adecuado que esté configurado en el hardware de circuito o suministro de electrolito de modo que pueda acceder ópticamente al electrolito de unidad de batería de flujo. De forma alternativa, se pueden emplear dispositivos potenciométricos distintos de la celda de referencia descrita anteriormente para medir el estado de carga del anolito y catolito por separado respecto a un electrodo de referencia común (por ejemplo, calomelano saturado, cloruro de plata, etc.), contribuyendo cada uno a determinar el estado de carga total.

De manera ventajosa, el enfoque de equilibrado ilustrado en la figura 1 permite equilibrar el estado de carga entre cadenas de unidades de batería de flujo sin requerir un convertidor de potencia bidireccional controlable separado conectado eléctricamente a cada cadena. En cambio, un único convertidor de potencia bidireccional controlable puede satisfacer las necesidades de cada conjunto. Además, no se requieren subsistemas para interconectar y mezclar de manera fluida el tanque de anolito y el tanque de catolito para lograr el equilibrado del estado de carga.

Como ventajas adicionales de este enfoque, las etapas requeridas de medición y control se pueden realizar cuando el conjunto está completamente en servicio, es decir, cuando se carga o descarga por medio del convertidor de potencia bidireccional controlable. Además, es posible que las etapas de procedimiento solo tengan que realizarse periódicamente, como en momentos en los que los electrolitos de unidad de batería de flujo están en un estado de carga bajo o alto.

La figura 2 muestra un esquema de un conjunto de baterías de flujo que comprende un número N de cadenas de unidades de batería de flujo SA, SB,... SN conectadas eléctricamente en paralelo. En este caso hay al menos una unidad de batería de flujo A1, B1,... N1 en cada una de las N cadenas. La localización de sensores de voltaje opcionales 24A, 24B,... 24N y de sensores de corriente 25A, 25B,... 25N se muestran aquí con el propósito de medir la resistencia y las tasas de cambio de resistencia de unidades de batería de flujo individuales de las cadenas.

La figura 3 muestra un esquema de un conjunto de baterías de flujo que comprende dos cadenas de unidades de batería de flujo SA, SB conectadas eléctricamente en paralelo y en las que, nuevamente, hay n unidades de batería

de flujo A1, A2,... An y B1, B2,... Bn, respectivamente, en cada cadena. En este caso, dispositivos de derivación de corriente (CBD) 26A1 y 26B1 se muestran proporcionados a través de las primeras unidades de batería de flujo A1, B1 de cada una de las cadenas. Los dispositivos de derivación de corriente se pueden usar para equilibrar el estado de carga entre unidades de batería de flujo dentro de las cadenas de unidades de batería de flujo desviando adecuadamente la corriente a través de los dispositivos de derivación de corriente.

La figura 4 muestra de nuevo un esquema de un conjunto de baterías de flujo que comprende dos cadenas de unidades de batería de flujo SA, SB conectadas eléctricamente en paralelo y en las que hay n unidades de batería de flujo A1, A2,... An y B1, B2,... Bn en cada cadena, respectivamente. Con propósitos preferentes de medición y equilibrado, dispositivos de derivación de corriente 26A1, 26A2,... 26An, 26B1, 26B2,... 26Bn y sensores de voltaje 24A1, 24A2,... 24An, 24B1, 24B2,... 24Bn se proporcionan a través de cada unidad de batería de flujo de cada una de las cadenas, y sensores de corriente 25A y 25B se proporcionan en serie con las cadenas. Como reconocerán los expertos en la técnica, cada unidad de batería de flujo de la cadena SA puede proporcionar su entrada de estado de SOC (no mostrada) al controlador 19 que, a su vez, puede determinar qué dispositivo(s) de derivación de corriente, 26A1, 26A2,... 26An. etc., debe controlar para desviar corriente por medio de una señal de salida (no mostrada) y mantener todas las unidades de batería de flujo de la cadena SA en el mismo estado de carga de electrolito. Este procedimiento de control de habilitación funciona dentro de una cadena de unidades de batería de flujo, pero no para múltiples cadenas de unidades de batería de flujo eléctricamente en paralelo.

La figura 5 muestra un esquema de un modo de realización complejo de la invención, adecuado para uso comercial para conectarse a servicios públicos de CA. El modo de realización mostrado comprende N' conjuntos de baterías de flujo de la invención conectados eléctricamente en paralelo (es decir, AR1, AR2, ... ARN'). Los conjuntos comprenden N cadenas de unidades de batería de flujo conectadas eléctricamente en paralelo (es decir, SA, SB,... SN) y n unidades de batería de flujo (es decir, A1, A2,... An, B1, B2, ... Bn,... N1, N1, ... Nn) en cada una de las cadenas de unidades de batería de flujo. [La figura 5 también incluye una vista ampliada de la unidad de batería A1 que, a su vez, comprende apilamientos de celdas en paralelo denotados aquí de CS1 a Csx. Los elementos comunes a la figura 1 están numerados de manera similar. La vista ampliada también muestra otro hardware asociado a una cadena de unidades de batería, tales como bombas, ventiladores, equipos auxiliares (aux.) y líneas de comunicación (com.).] Como se muestra en la figura 5, se proporcionan dispositivos de derivación de corriente a través de cada unidad de batería de flujo. En este caso, los convertidores de potencia bidireccionales controlables 16 asociados a cada conjunto comprenden un panel de conexión de CC 16i y un convertidor de CA/CC asociado 16ii. La figura 5 también muestra otro hardware que aparece típicamente en las conexiones con servicios públicos de CA, que incluyen un panel de conexión ESS y el aparellaje, disyuntores principales, dispositivos de medición, cargas del sitio y líneas de CA.

La invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de baterías de flujo redox, que comprende:

al menos dos cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB) conectadas eléctricamente en paralelo, en las que cada cadena de unidades de batería de flujo (SA, SB) comprende al menos una unidad de batería de flujo (A1, B1) que comprende:

una cadena de baterías de flujo que comprende al menos una celda de batería de flujo (2a, 2b) en la que cada celda comprende un ánodo (3a, 3b), un cátodo (4a, 4b) y electrolitos de unidad de batería de flujo que comprenden un anolito (5a, 5b) y un catolito (6a, 6b);

un tanque de anolito (7a, 7b) y un tanque de catolito (8a, 8b) para el almacenamiento del anolito (5a, 5b) y el catolito (6a, 6b) del electrolito de unidad de batería de flujo, respectivamente;

un circuito de anolito (9a, 9b) que comprende una línea de suministro (10a, 10b) y una línea de retorno (11a, 11b) que conecta el tanque de anolito (7a, 7b) a los ánodos (3a, 3b) de las celdas de batería de flujo (2a, 2b) de la cadena de baterías de flujo;

un circuito de catolito (12a, 12b) que comprende una línea de suministro (13a, 13b) y una línea de retorno (14a, 14b) que conecta el tanque de catolito (8a, 8b) a los cátodos (4a, 4b) de las celdas de batería de flujo (2a, 2b) de la cadena de baterías de flujo; y

un dispositivo de medición de estado de carga (17a, 17b) capaz de medir el estado de carga del electrolito de unidad de batería de flujo de la unidad de batería de flujo (A1, B1);

un regulador de flujo (18) en al menos uno de los circuitos de anolito y catolito (9a, 9b, 12a, 12b) que regula el flujo de al menos uno del anolito (5a, 5b) y el catolito (6a, 6b) a través de los mismos en al menos una de las unidades de batería de flujo (A1, B1) de las al menos dos cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB);

un convertidor de potencia bidireccional controlable (16) conectado eléctricamente a cada una de las al menos dos cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB); y

un controlador (19) con entradas (20a, 20b) conectadas a cada uno de los dispositivos de medición de estado de carga (17a, 17b) en las unidades de batería de flujo (A1, B1) y con una salida (21a, 21b) conectada al regulador de flujo (18), en el que la salida del controlador controla el regulador de flujo (18) para regular el flujo de al menos uno del anolito (5a, 5b) y el catolito (6a, 6b) hacia los ánodos (3a, 3b) y los cátodos (4a, 4b) de las celdas de batería de flujo (2a, 2b) de la cadena de baterías de flujo de acuerdo con los estados de carga de los electrolitos de unidad de batería de flujo de las unidades de batería de flujo (A1, B1) y, por lo tanto, equilibrar el estado de carga de las al menos dos cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB).
2. El conjunto de baterías de flujo redox de la reivindicación 1, en el que el conjunto carece de convertidores de potencia bidireccionales controlables adicionales conectados eléctricamente a cualquiera de las cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB).
3. El conjunto de baterías de flujo redox de la reivindicación 1, en el que el conjunto carece de subsistemas para interconectar y mezclar de manera fluida el tanque de anolito (7a, 7b) y el tanque de catolito (8a, 8b) de acuerdo con los estados de carga de los electrolitos de unidad de batería de flujo de las unidades de batería de flujo (A1, B1).
4. El conjunto de baterías de flujo redox de la reivindicación 1, en el que el conjunto comprende una pluralidad de cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB) conectadas eléctricamente en paralelo.
5. El conjunto de baterías de flujo redox de la reivindicación 4, que comprende un sensor de voltaje (24) a través de la al menos una unidad de batería de flujo (A1, B1) de cada una de las cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB) y un sensor de corriente (25) en serie con la al menos una unidad de batería de flujo (A1, B1) de cada una de las cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB).
6. El conjunto de baterías de flujo redox de la reivindicación 1, en el que cada una de las cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB) comprende al menos dos unidades de batería de flujo (A1, B1) conectadas eléctricamente en serie.
7. El conjunto de baterías de flujo redox de la reivindicación 6, en el que cada una de las cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB) comprende un dispositivo de derivación de corriente (26) conectado eléctricamente en paralelo a al menos una de las unidades de batería de flujo (A1, B1) de las cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB).

8. El conjunto de baterías de flujo redox de la reivindicación 1, que comprende un regulador de flujo (18) en cada uno de los circuitos de anolito y catolito (9a, 9b, 12a, 12b) de cada una de las unidades de batería de flujo (A1, B1) de cada una de las cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB) que regula el flujo de cada uno del anolito (5a, 5b) y el catolito (6a, 6b) a través de los mismos, en el que el controlador (19) comprende salidas (21a, 21b) conectadas a cada uno de los reguladores de flujo (18) de cada uno de los circuitos de anolito y catolito (9a, 9b, 12a, 12b).
9. El conjunto de baterías de flujo redox de la reivindicación 1, en el que el dispositivo de medición del estado de carga (17a, 17b) de cada una de la al menos una unidad de batería de flujo (A1, B1) comprende:
 - una celda de batería de flujo de referencia sin carga alimentada con el anolito (5a, 5b) y el catolito (6a, 6b) del electrolito de unidad de batería de flujo; y
 - un sensor de voltaje (24) conectado a través de la celda de batería de flujo de referencia para medir el voltaje de circuito abierto de la batería de flujo de referencia.
10. El conjunto de baterías de flujo redox de la reivindicación 1, en el que el dispositivo de medición de estado de carga (17a, 17b) de cada una de la al menos una unidad de batería de flujo (A1, B1) se selecciona del grupo que consiste en un dispositivo colorimétrico que accede ópticamente al electrolito de unidad de batería de flujo, un dispositivo espectroscópico que accede ópticamente al electrolito de unidad de batería de flujo y un dispositivo potenciométrico.
11. El conjunto de baterías de flujo redox de la reivindicación 1, en el que las celdas de batería de flujo (2a, 2b) de las cadenas de baterías de flujo son baterías de flujo redox de vanadio.
12. Un procedimiento para equilibrar el estado de carga de las unidades de batería de flujo (A1, B1) del conjunto de baterías redox de la reivindicación 1, que comprende equilibrar el estado de carga de las cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB), en el que equilibrar el estado de carga de las cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB) comprende las etapas de:
 - mediante el uso del dispositivo de medición de estado de carga (17a, 17b), medir los estados de carga del electrolito de unidad de batería de flujo de la unidad de batería de flujo (A1, B1) de cada una de las al menos dos cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB);
 - introducir los estados de carga medidos en el controlador (19);
 - mediante el uso del controlador (19), determinar una señal de control para regular el flujo de al menos uno del anolito (5a, 5b) y el catolito (6a, 6b) hacia los ánodos (3a, 3b) y los cátodos (4a, 4b) de las celdas de batería de flujo (2a, 2b) de la al menos una de las unidades de batería de flujo (A1, B1) de acuerdo con los estados de carga de los electrolitos de unidad de batería de flujo de las unidades de batería de flujo (A1, B1) para equilibrar el estado de carga de las al menos dos cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB);y enviar la señal de control al regulador de flujo (18).
13. El procedimiento de la reivindicación 12, en el que el dispositivo de medición del estado de carga (17a, 17b) de cada una de la al menos una unidad de batería de flujo (A1, B1) comprende:
 - una celda de batería de flujo de referencia sin carga alimentada con el anolito (5a, 5b) y el catolito (6a, 6b) del electrolito de unidad de batería de flujo; y
 - un sensor de voltaje (24) conectado a través de la celda de batería de flujo de referencia para medir el voltaje de circuito abierto de la batería de flujo de referencia,y la etapa de medir los estados de carga comprende medir los voltajes de circuito abierto de las celdas de batería de flujo de referencia sin carga.
14. El procedimiento de la reivindicación 12, en el que cada una de las cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB) comprende al menos dos unidades de batería de flujo conectadas eléctricamente en serie y cada una de las cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB) comprende un dispositivo de derivación de corriente (26) conectado eléctricamente en paralelo a al menos una de las unidades de batería de flujo (A1, B1) de las cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB), comprendiendo adicionalmente el procedimiento:
 - equilibrar el estado de carga entre las unidades de batería de flujo (A1, B1) dentro de las cadenas de unidades de batería de flujo (SA, SB) desviando corriente a través de uno o más de los dispositivos de derivación de corriente (26).
15. El procedimiento de la reivindicación 12, en el que las etapas se realizan cuando el conjunto se está cargando o descargando por medio del convertidor de potencia bidireccional controlable (16) o en el que las etapas se

realizan en momentos en los que los electrolitos de unidad de batería de flujo están en un estado de carga bajo o alto.

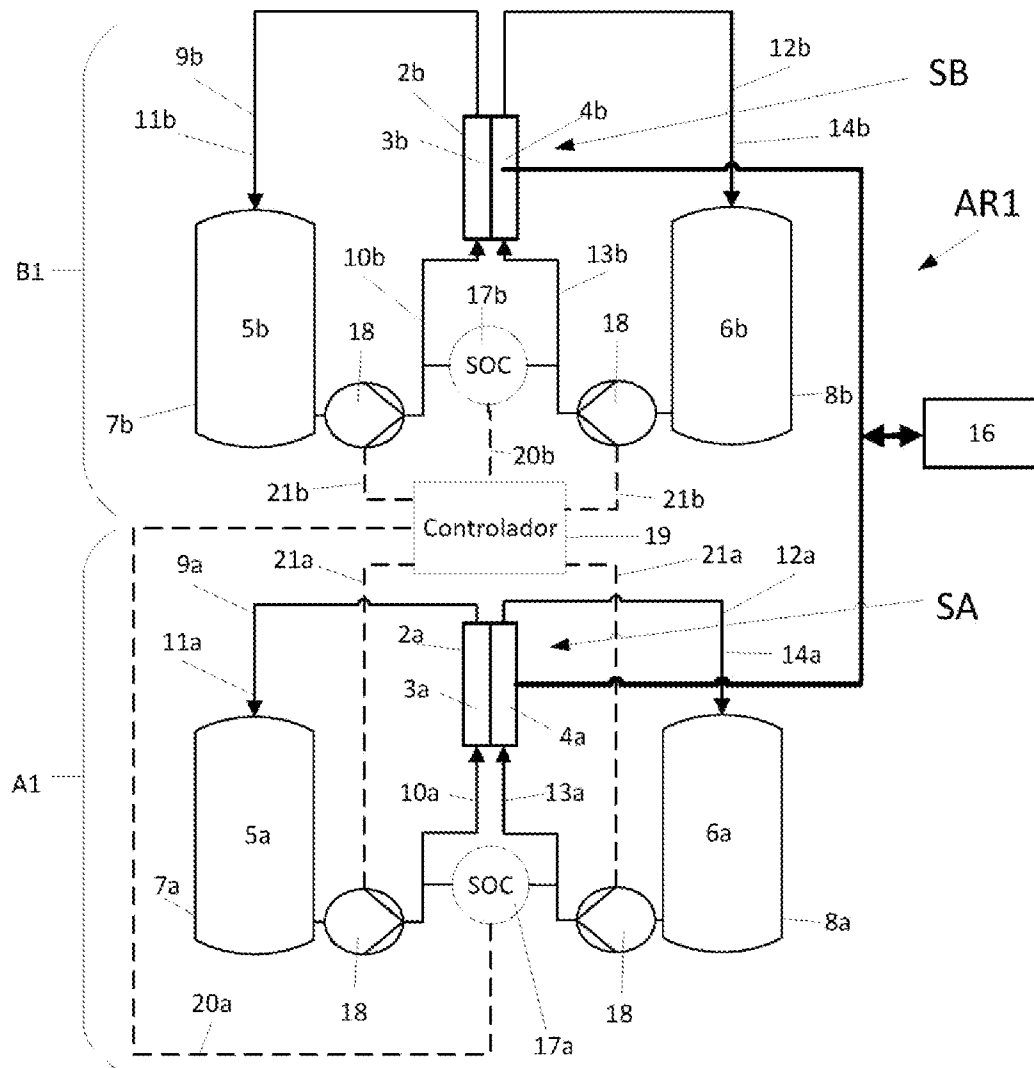


FIG. 1

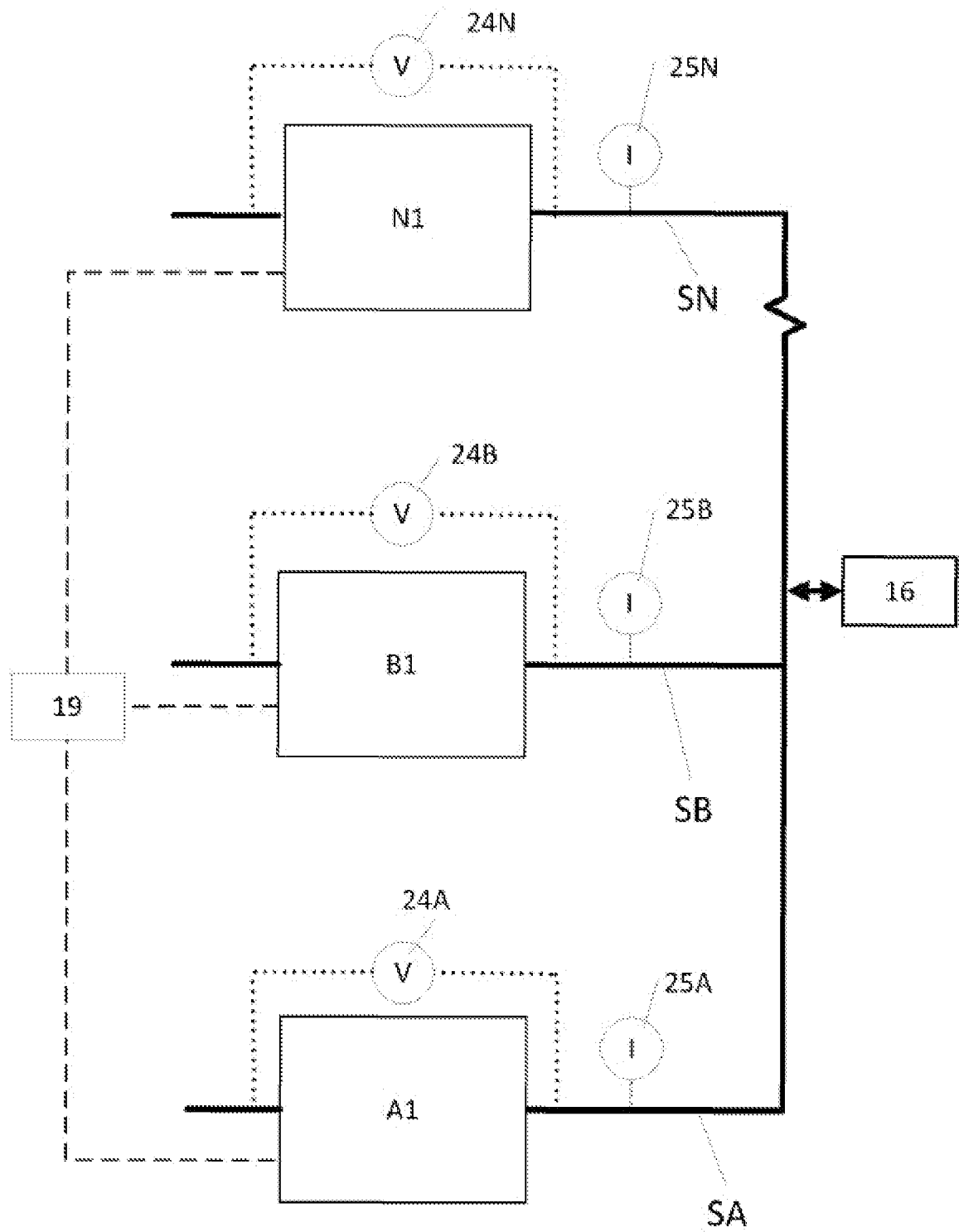


FIG. 2

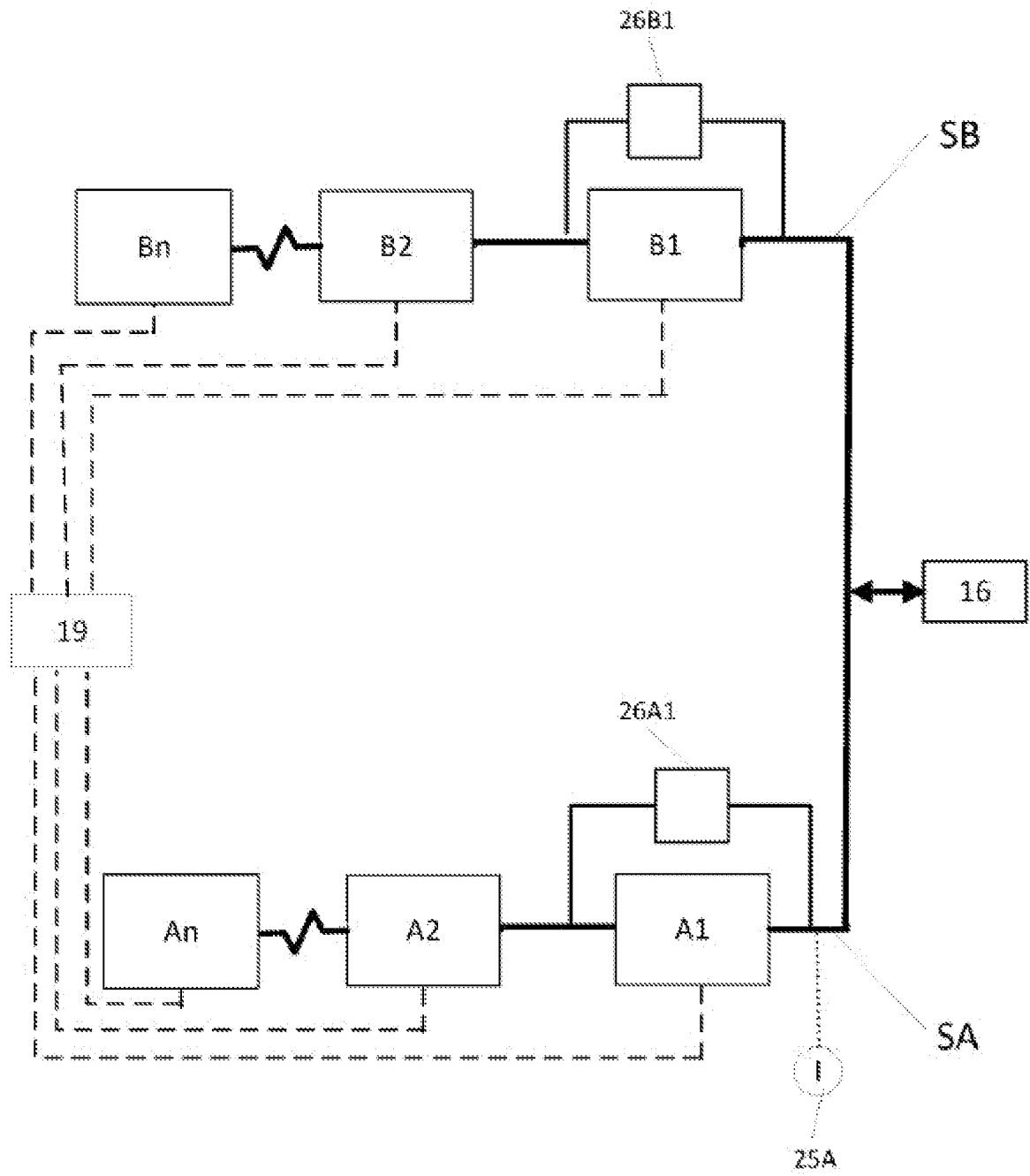


FIG. 3

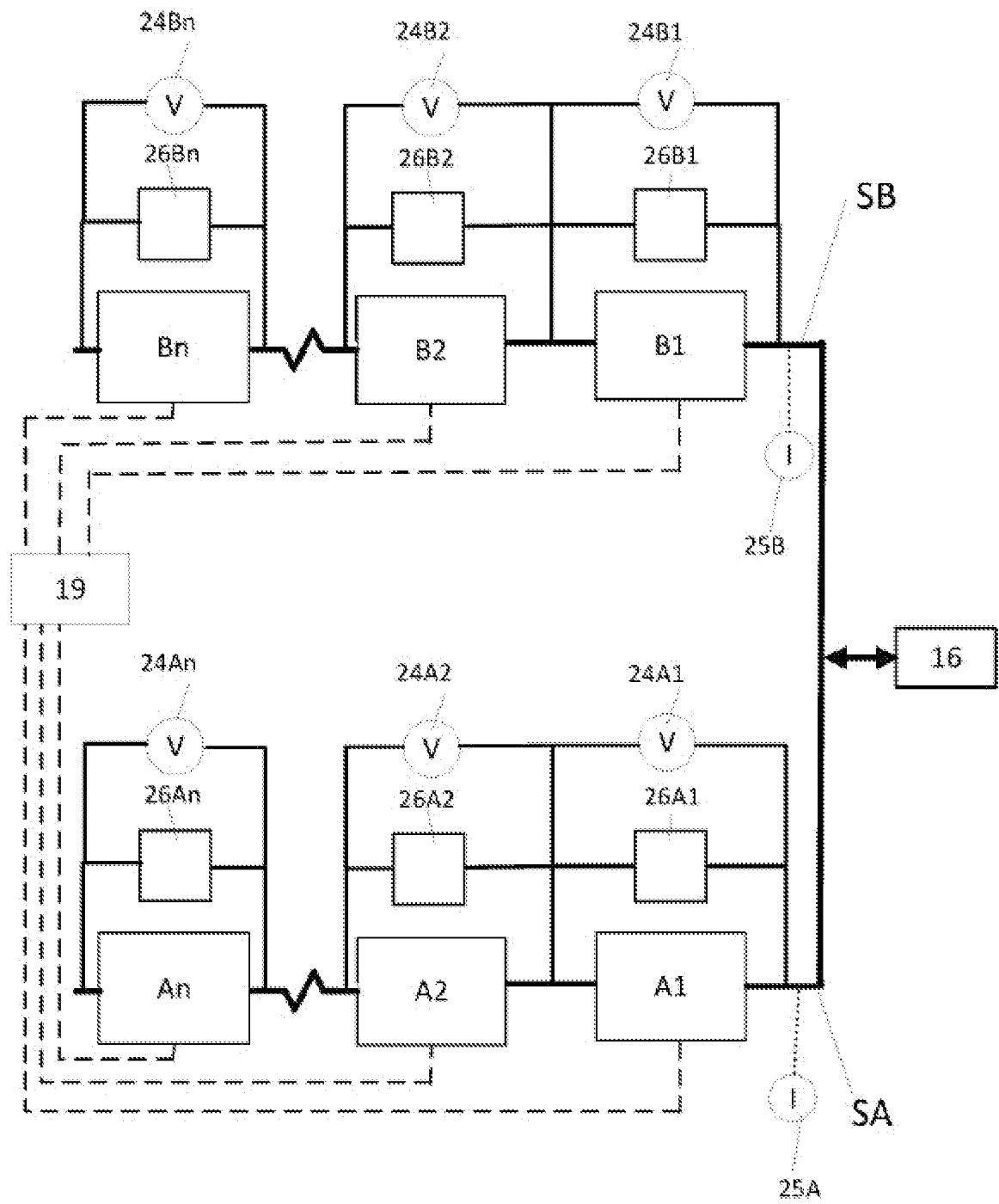


FIG. 4

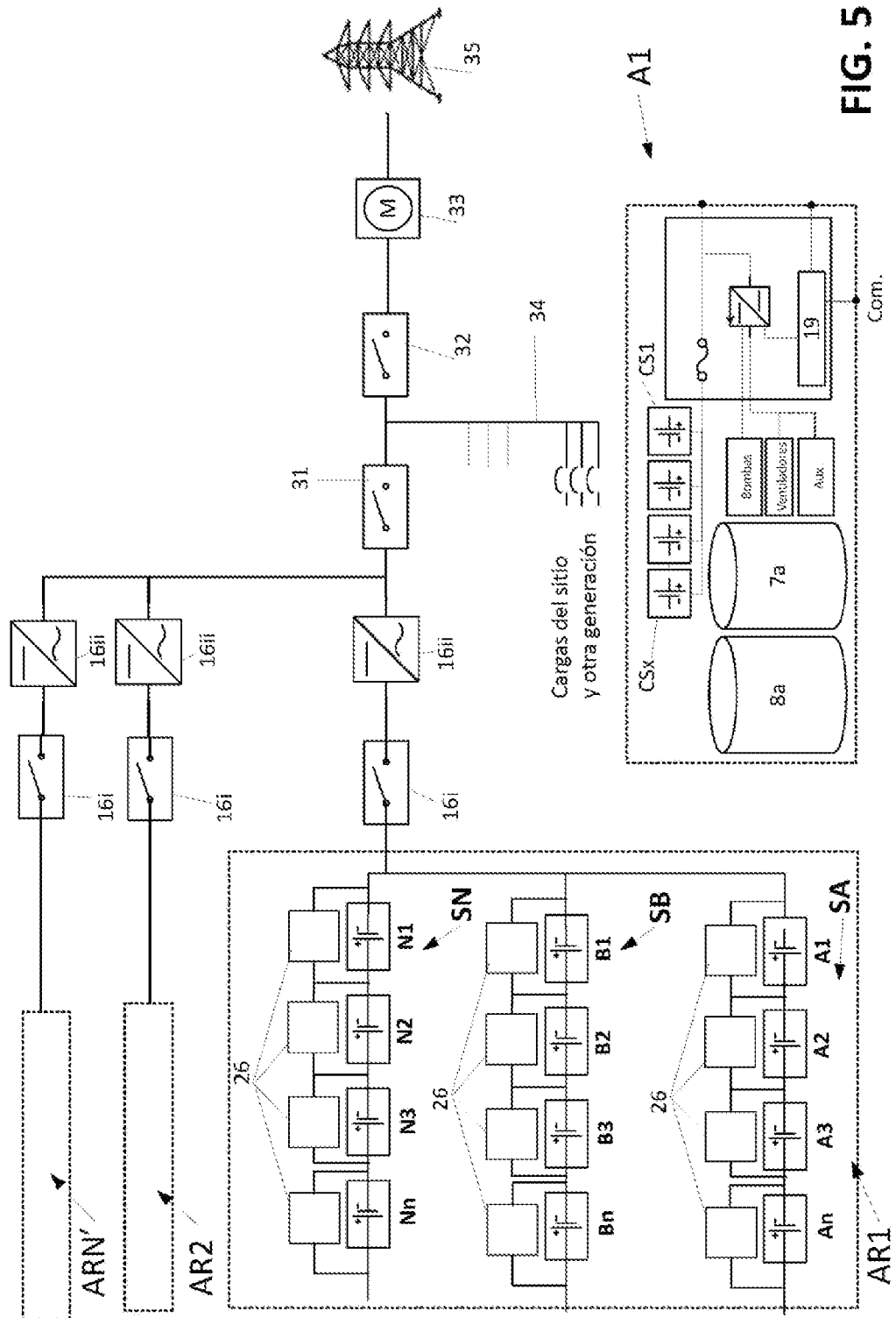


FIG. 5

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCION

La lista de referencias citadas por el solicitante es, únicamente, para conveniencia del lector. No forma parte del documento de patente europea. Si bien se ha tenido gran cuidado al recopilar las referencias, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP declina toda responsabilidad a este respecto.

Documentos de patente citados en la descripción

- EP 3258526 A1 [0010]
- US 2005158614 A1 [0010]