

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 386 780**

51 Int. Cl.:

H01M 8/18

(2006.01)

H01M 8/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03717669 .0**

96 Fecha de presentación: **21.04.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1536507**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **01.06.2005**

54 Título: **Método para el diseño de un sistema de batería de flujo redox**

30 Prioridad:
23.04.2002 JP 2002120157

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.08.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.08.2012

73 Titular/es:
**Sumitomo Electric Industries, Ltd.
5-33, Kitahama 4-chome, Chuo-ku
Osaka-shi, Osaka 541-0041, JP y
The Kansai Electric Power Co., Inc.**

72 Inventor/es:
**DEGUCHI, Hiroshige;
SHIGEMATSU, Toshio y
TOKUDA, Nobuyuki**

74 Agente/Representante:
Ungría López, Javier

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).

ES 2 386 780 T3

DESCRIPCIÓN

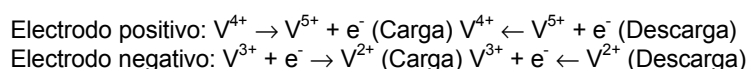
Método para el diseño de un sistema de batería de flujo redox

5 La presente invención se refiere a un método de diseño de un sistema de batería de flujo redox que incluye una batería de flujo redox que fuerza a una solución electrolítica a su suministro hacia y descarga desde sus células. En particular, la presente invención se refiere a un método de diseño de un sistema de batería de flujo redox que pueda reducir las pérdidas en el sistema de batería.

10 Es inherente al suministro de energía eléctrica que la potencia en el suministro se adapte al consumo de electricidad, se requiere lo que se denomina "suministro simultáneo de electricidad equivalente". Entretanto, los desarrollos de nuevas fuentes de energía, incluyendo la generación de energía eléctrica eólica y la generación de energía eléctrica solar fotovoltaica, han ido creciendo en los últimos años. Sin embargo, la generación de energía eléctrica eólica, la generación de energía eléctrica solar fotovoltaica y otras similares son todas ellas fuentes de
15 energía que son irregulares en la producción de energía eléctrica, debido a lo cual estas fuentes de energía no pueden servir como unas fuentes de energía satisfactorias por sí mismas. Se toma en consideración en este caso la combinación de alguna batería de almacenamiento para estabilizar la salida en la producción de energía eléctrica. La publicación de patente japonesa abierta a inspección pública (no examinada) N° de Serie 61-218070 describe la técnica en el uso de una batería de flujo redox como batería de almacenamiento.

20 Esta publicación describe que una batería de almacenamiento de plomo, que no necesita de ninguna parte móvil, tal como una bomba u otra similar, se anexa adicionalmente a la batería de flujo redox, para reducir las pérdidas en la potencia de bombeo y la pérdida producida por una corriente de derivación, que contribuye a la reducción de la eficiencia combinada de la batería de flujo redox, en respuesta a una potencia de entrada.

25 En general, la batería de flujo redox se usa para equilibrado de la carga o como contramedida al decaimiento de la tensión. La FIG. 8 muestra una vista explicativa que muestra un principio de funcionamiento de una batería secundaria de flujo redox general. Esta batería tiene una célula 100 que está separada en una célula de electrodo positivo 100A y una célula de electrodo negativo 100B mediante una membrana 103 de intercambio de iones. Están incluidos un electrodo positivo 104 y un electrodo negativo 105 en la célula del electrodo positivo 100A y en la célula del electrodo negativo 100B, respectivamente. Se conecta un depósito de electrodo positivo 101 para la alimentación y descarga de solución electrolítica positiva a y desde la célula del electrodo positivo 100A hacia la célula del electrodo positivo 100A a través de tuberías de conducción 106, 107. De modo similar, se conecta un depósito de electrodo negativo 102 para la alimentación y descarga de la solución electrolítica negativa a y desde la célula del electrodo negativo 100B a la célula del electrodo negativo 100B a través de las tuberías de conducción 109, 110. Se usa una solución acuosa que contiene iones que cambian de valencia, tal como un ion de vanadio, para los electrolitos respectivos y se hace circular mediante el uso de bombas 108, 111, para cargar o descargar con iones de valencia la reacción en los electrodos positivo y negativo 104, 105. Por ejemplo, cuando se usa un electrólito que contiene iones de vanadio, tienen lugar las siguientes reacciones en la célula durante la carga o la descarga de
40 electricidad:



45 Sin embargo, la adición de una batería de almacenamiento de plomo con la finalidad de mejorar la reducción de la eficiencia producida por una generación de potencia o potencia de carga débil en el momento de carga o descarga de electricidad o impedir el aumento de las pérdidas en el sistema en el momento de la carga o descarga eléctrica, como en la técnica descrita en la publicación anterior, provoca problemas no sólo de incrementar los costes de producción sino también de incremento en la escala de las instalaciones.

50 El accionamiento de la bomba para la alimentación y descarga del electrólito a y desde las células es absolutamente necesaria para la batería de flujo redox. Debido a esto, convencionalmente se emplea la adición de una batería de almacenamiento de plomo a la fuente de energía que sea irregular en la producción de energía eléctrica, aunque se padece de las desventajas de incremento en los costos de producción y otros.

55 En general, una pérdida en el sistema significa el total de una pérdida en la batería y una pérdida en el convertidor. La técnica descrita en la publicación citada anteriormente toma en consideración la pérdida en la potencia de la bomba y la pérdida en la corriente en derivación como factores de las pérdidas de batería, pero no toma en consideración la pérdida de eficiencia producida por una resistencia de la batería (resistencia de célula). A la vista de
60 esto, es deseable un sistema que pueda proporcionar una reducción de pérdidas adicionales.

Entretanto, hay algunas instalaciones convencionales en las que sólo se combina una batería de flujo redox con una fuente de energía que sea irregular en su producción de energía eléctrica, sin batería de almacenamiento de plomo adjunta a la misma, sin tener en cuenta la reducción en la eficiencia producida por la potencia generada o carga de potencia débiles en el momento de la carga o descarga eléctrica. En esas instalaciones, no se realiza ningún estudio sobre cómo debería ser la magnitud de la batería de almacenamiento en combinación con la magnitud (producción
65

de energía eléctrica, variación en la producción de energía eléctrica, etc.) de una fuente de energía que sea irregular en su producción de energía eléctrica, como la generación de energía eléctrica eólica y la generación de energía eléctrica solar fotovoltaica, y no se proporciona ninguna guía de diseño de la misma. En las circunstancias anteriores, la batería de flujo redox funciona prácticamente, en combinación con una batería de almacenamiento de una magnitud razonable o, específicamente, una capacidad de salida de aproximadamente la mitad de la producción de energía eléctrica total, pero este funcionamiento incluye una gran pérdida en el sistema, conduciendo un deterioro de la eficiencia del sistema.

También, es común que no se realice ningún estudio sobre cómo debería ser la magnitud del convertidor en combinación con la magnitud (producción de energía eléctrica, variación en la producción de energía eléctrica, etc.) de una fuente de energía que sea irregular en su producción de energía eléctrica, como la generación de energía eléctrica eólica y la generación de energía eléctrica solar fotovoltaica, y no se proporciona ninguna guía de diseño de la misma. Por ello, la batería de flujo redox combinada con una fuente de energía irregular en su producción de energía eléctrica no tiene en consideración las pérdidas en el convertidor.

Adicionalmente, no se ha realizado ningún estudio sobre las guías de diseño que puedan proporcionar una reducción adicional de las pérdidas en el sistema para la batería de flujo redox usada para el equilibrado de la potencia de carga o contramedidas ante variación irregular en el consumo de potencia, tal como un decaimiento en la tensión, así como para la batería de flujo redox usada para estabilización de la salida de la fuente de energía que sea irregular en la producción de energía eléctrica.

Adicionalmente, es deseable un método de diseño de una batería de flujo redox óptima que considere no solamente las pérdidas en el sistema sino también la reducción en los costes de producción y en la escala de las instalaciones.

Es un objetivo principal de la presente invención proporcionar un método de diseño de una batería de flujo redox que pueda proporcionar un funcionamiento más óptimo para una batería de flujo redox que se haga funcionar de modo irregular para la estabilización de una producción de energía eléctrica y una fuente de energía que sea inestable en la potencia generada así como para el control de la alimentación y demanda de electricidad.

Es otro objetivo de la presente invención proporcionar un método de diseño de un sistema de batería de flujo redox que pueda reducir las pérdidas en el sistema producidas por una generación de potencia o potencia la carga débiles en el momento de la carga o descarga eléctrica sin el uso de una batería de almacenamiento de plomo.

El documento JP 2000 073 932 describe un equipo de generación de energía eólica. El documento US 4.766.567 describe una batería redox totalmente en vanadio.

Descripción de la invención

La presente invención se define en base al conocimiento proporcionado a continuación.

(1) Con el fin de evaluar un sistema, tal como unas pérdidas (característica de pérdidas), se pueden suponer en la práctica como funciones cuadráticas.

(2) Un parámetro externo que tenga relación con la característica, tal como una salida de la batería para una producción de energía eléctrica equilibrada, tiene una distribución de probabilidad.

(3) El valor esperado del parámetro interno que tiene relación con la característica, tal como unas pérdidas en la batería y unas pérdidas en el convertidor, se obtiene del valor medio del parámetro interno que tiene una distribución de probabilidad o desviación estándar.

(4) El valor óptimo del parámetro interno para optimizar la característica se puede determinar a partir de los anteriores. Para ser más específico, se determina por ejemplo una salida especificada de la batería o una salida especificada del convertidor para proporcionar una reducción adicional de las pérdidas en el sistema. El parámetro interno para la optimización de la característica se expresa como n veces la desviación estándar de la distribución de probabilidad. Siendo más específico, por ejemplo la salida especificada de la batería o la salida especificada del convertidor para proporcionar una reducción adicional en las pérdidas del sistema se puede expresar como n veces la desviación estándar de la distribución de probabilidad.

La presente invención se enfoca en un método novedoso de diseño de un sistema de batería de flujo redox de acuerdo con la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas al presente documento.

Hasta el momento se ha creído que era imposible realizar una mejora en el incremento de las pérdidas producidas por una generación eléctrica o carga eléctrica débil en el momento de la carga o descarga eléctrica, sin el uso de una batería de almacenamiento de plomo anexa a una fuente de energía que sea irregular en la producción de energía eléctrica. También, no ha habido conocimiento de un método óptimo para el diseño de una batería de flujo redox que se haga funcionar de modo irregular no solamente para la estabilización de la potencia de esa fuente de energía sino también para el control del suministro y demanda de electricidad. Después de haber estudiado las posibilidades de mejora desde varios ángulos, los presentes inventores han hallado que las características del

sistema de baterías anterior (reducción en las pérdidas del sistema) se puede optimizar mediante la determinación de magnitudes (salida especificada, número de células, etc.) de la batería de flujo redox, magnitudes (salida especificada, etc.) del convertidor de c.c./c.a., tal como un inversor y otras condiciones de funcionamiento (caudal de electrolito para cada célula, temperatura del electrónico, etc.) mediante el método especificado mencionado anteriormente, conduciendo a la consecución de la presente invención. A continuación, se explicará adicionalmente en detalle la presente invención.

En la presente invención, se define un parámetro externo en este caso como un parámetro dado por la condición de funcionamiento de la batería de flujo redox que el diseñador no puede elegir voluntariamente, siendo una salida de la batería de flujo redox para el equilibrado de la producción de energía eléctrica del equipo generador que varía irregularmente en su producción de energía eléctrica. La condición de funcionamiento se varía adecuadamente dependiendo de, por ejemplo, una atmósfera alrededor de la localización de la instalación de la batería de flujo redox, una aplicación y finalidad pretendidas de la misma batería, una demanda del usuario, etc. Siendo más específico, por ejemplo, una temperatura del aire exterior en la localización de la instalación de la batería de flujo redox es un ejemplo de parámetro que el diseñador no puede elegir voluntariamente (ejemplo de referencia). Los otros incluyen el equilibrado de una producción de energía eléctrica del equipo de generación, tal como la generación de energía eléctrica eólica y la de generación de energía eléctrica solar fotovoltaica, que varía irregularmente en su producción de energía eléctrica, el equilibrado de la carga (ejemplo de referencia) y las contramedidas ante un decaimiento de la tensión (ejemplo de referencia). Estos son los parámetros que se determinan dependiendo de la demanda del usuario para las aplicaciones y finalidades pretendidas y la generación eléctrica y el consumo de potencia en esas aplicaciones y finalidades difícilmente puede ser determinado por el diseñador. En consecuencia, los parámetros relativos a los parámetros citados anteriormente, tales como, por ejemplo, la salida de la batería para equilibrado en la generación de potencia del equipo de generación que varía irregularmente en la producción de energía eléctrica y la salida de la batería para equilibrado en el consumo de potencia de la carga que varía irregularmente el consumo de potencia son también parámetros que el diseñador no puede determinar voluntariamente. Adicionalmente, la capacidad en kW y en kWh de la batería de flujo redox son unos parámetros que se determinan por la demanda del usuario y no pueden ser determinados por el diseñador voluntariamente.

Los parámetros externos que se pueden usar incluyen un parámetro que toma un valor que varía dependiendo de un fenómeno natural (ejemplo de referencia), tal como una temperatura del aire exterior en la localización de la instalación; un parámetro que toma un valor que depende de un fenómeno irregular o estocástico y es un parámetro que toma un valor que varía temporalmente, siendo la salida de la batería para equilibrado de la generación de potencia irregular o consumo de potencia y un parámetro tal como la capacidad en kW, que toma un valor fijo (ejemplo de referencia). Por ello, el parámetro externo puede ser sólo un parámetro que toma un valor que depende del fenómeno estocástico, sólo un parámetro que toma un valor fijo (ejemplo de referencia) y, naturalmente, un parámetro que toma ambos, dependiendo de la elección del parámetro externo (ejemplo de referencia). También, el parámetro externo se puede usar junto con o en combinación con dos o más.

La presente invención define, en particular, los parámetros externos que incluyen al menos uno de los parámetros que toman valores que dependen de un fenómeno estocástico como se ha enumerado anteriormente. El parámetro externo puede incluir adicionalmente un parámetro que toma un valor fijo. Se supone que el parámetro que toma un valor que depende de un fenómeno estocástico viene dado en valor medio y en desviación estándar (o varianza). Por ejemplo, cuando la salida de la batería para equilibrado de la producción de generación de potencia del equipo de generación que varía irregularmente en su producción de energía eléctrica (de acuerdo con la presente invención) o la salida de la batería para equilibrado del consumo de potencia de la carga que varía irregularmente en el consumo de potencia (ejemplo de referencia) se eligen como el parámetro externo, el valor promedio y la desviación estándar se pueden determinar a partir de las salidas individuales que varían temporalmente. La expresión de "salidas individuales que varían temporalmente" se pretende que incluya, por ejemplo, una salida de batería (kW) en un instante de tiempo en una fecha, una salida de batería siguiente (kW) en + un segundo después de eso, una salida de batería siguiente adicional (kW) otro + un segundo después,... En el ejemplo de referencia, cuando se elige una temperatura del exterior en la localización de la instalación como el parámetro externo, la media y la desviación estándar se puede determinar a partir de temperaturas ambientes individuales que varían temporalmente. La expresión de "temperaturas ambientes individuales que varían temporalmente" se pretende que incluya, por ejemplo, una temperatura (K) en un instante de tiempo en una fecha, una temperatura posterior (K) en + un segundo después y una temperatura siguiente adicional (K) otro + un segundo después,..., cuando se examinan en K (kelvin) por minuto.

El parámetro externo que tiene una media y una desviación estándar según se han elegido para la aplicación y propósito incluyen, por ejemplo, los citados a continuación. Una salida de batería para el equilibrado de la producción de energía eléctrica del equipo de generación que varía irregularmente en su producción de energía eléctrica se cita como un parámetro externo para la aplicación y finalidad de equilibrar la producción de energía eléctrica del equipo de generación, tal como la generación de energía eléctrica eólica y la generación de energía eléctrica solar fotovoltaica, que varían irregularmente su producción de energía eléctrica. En un ejemplo de referencia, una salida de batería para el equilibrado del consumo de potencia de una carga que varía irregularmente en su consumo de potencia se puede citar como parámetro externo para la aplicación y finalidad de igualar la

potencia de carga. En un ejemplo de referencia, una temperatura exterior en una localización de la instalación se puede citar como un parámetro externo para la aplicación y finalidad de contrarrestar la caída en la tensión.

La fase de "equilibrado de la producción de energía eléctrica" usada en el presente documento se pretende que indique que cuando una producción de potencia eléctrica excede un umbral que se establece para la producción de potencia eléctrica, el sobrante en la salida que excede del umbral se carga en la batería, mientras que por otro lado, cuando una producción de potencia eléctrica es menor que el umbral, la salida correspondiente a la faltante se descarga de la batería. También, la fase de "equilibrado del consumo de potencia" usada en el presente documento se pretende que indique que cuando el consumo de potencia excede de un umbral que también se establece para el consumo de potencia, la salida correspondiente a la faltante producida por el consumo de potencia que excede del umbral se descarga de la batería, mientras que por otro lado, cuando el consumo de potencia es menor que el del umbral, la salida sobrante se carga en la batería. Se pueden usar los mismos o diferentes umbrales para la carga y descarga de la batería. También, los umbrales se pueden variar dependiendo del tiempo requerido para la generación de potencia y la situación en la salida de la misma.

El parámetro interno se define aquí como un parámetro dado por la condición de diseño de la batería de flujo redox que el diseñador puede diseñar voluntariamente. Para ser más específico, los parámetros internos que se pueden usar incluyen, por ejemplo, una salida especificada de la batería, el número de baterías, el número de células (ejemplo de referencia), un volumen de fluido de un depósito de reserva de solución electrolítica (ejemplo de referencia), un caudal de una solución electrolítica para cada célula (ejemplo de referencia), una temperatura de la solución electrolítica (ejemplo de referencia), una salida especificada de un convertidor c.c./c.a. para la conversión de la salida de la batería y el número de convertidores c.c./c.a. para la conversión de la salida de la batería. También, el parámetro interno es un parámetro que toma un valor fijo, de modo diferente al parámetro externo. El parámetro interno se puede usar sólo o en combinación de dos o más.

Ahora, se explica concretamente un método de cálculo del valor óptimo del parámetro interno.

(1) Caso en el que el parámetro externo es solamente un parámetro que toma un valor fijo (un ejemplo de referencia que no forma parte de la presente invención):

Sea el parámetro externo representado como $x_1, x_2, \dots$. $x_1, x_2, \dots$ son todos tomados como valores fijos diferentes entre sí: por ejemplo, x_1 : capacidad en kW, x_2 : capacidad en kWh, $\dots$.

Sea el parámetro interno representado como $y_1, y_2, \dots$. $y_1, y_2, \dots$ son tomados como parámetros diferentes entre sí: por ejemplo, y_1 : una salida especificada de la batería, y_2 : una salida especificada del convertidor c.c./c.a., $\dots$.

Sea la función característica para evaluar el sistema representada como $f(x_1, x_2, \dots, y_1, y_2, \dots)$. f incluye, por ejemplo, unas pérdidas en el sistema (eficiencia), coste y tamaño. f incluye al menos uno de estos parámetros.

A continuación, se optimiza f cuando f toma un valor extremo local, es decir, cuando $\partial f / \partial y_i = 0$ o cuando y_i toma un valor máximo o un valor mínimo en el intervalo de la variable. En el último caso, un valor límite del intervalo de la variable se puede citar como un valor máximo posible o un valor mínimo posible.

Por ello, cuando el parámetro externo es un parámetro que toma un valor fijo, el valor óptimo de f se puede determinar fácilmente mediante diferenciación parcial como se ha mencionado anteriormente.

(2) Caso en el que el parámetro externo incluye un parámetro que toma un valor que depende de un fenómeno irregular o estocástico:

Sea el parámetro externo representado como $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots$. Se supone que $x_1, x_2, \dots, x_i$, son parámetros diferentes entre sí. Algunos de estos parámetros x_i son los parámetros que toman valores que dependen de un fenómeno estocástico. Por ejemplo, x_{k1} ($i=k1$) es la salida de la batería para equilibrado de la producción de energía eléctrica del equipo de generación que varía de modo irregular en su producción de energía eléctrica y x_{k2} ($i=k2$) es la temperatura del aire exterior en la localización de instalación de la batería, etc. También, x_i es el parámetro para el que se dan la media y la desviación estándar. La media se representa como $x_{i \text{ med}}$, y la desviación estándar se representa como σ_{xi} (la varianza como σ_{xi}^2).

Los otros parámetros externos x_1, x_2 , son los parámetros que toman valores fijos.

Sea el parámetro interno representado como $y_1, y_2, \dots$ en la misma forma que en el caso anterior.

A continuación, si la función característica para evaluar el sistema $f(x_1, x_2, \dots, y_1, y_2, \dots)$ se puede describir en la forma de una nueva función característica $g(x_1, x_2, \dots, x_{k1 \text{ med}}, \sigma_{xk1}^2, x_{k2 \text{ med}}, \sigma_{xk2}^2, \dots, x_{i \text{ med}}, \sigma_{xi}^2, y_1, y_2, \dots)$ considerando la media $x_{i \text{ med}}$ y la varianza σ_{xi}^2 del parámetro externo x_i , entonces g se puede optimizar cuando g toma un valor extremo local, cuando $\partial f / \partial y_i = 0$ o cuando y_i toma un valor máximo o un valor mínimo en el intervalo de la variable.

En consecuencia, una posible condición para permitir que $f(x_1, x_2, \dots, y_1, y_2, \dots)$ se describa en la forma $g(x_1, x_2, \dots, x_{k1 \text{ med}}, \sigma_{xk1}^2, x_{k2 \text{ med}}, \sigma_{xk2}^2, \dots, x_{i \text{ med}}, \sigma_{xi}^2, y_1, y_2, \dots)$ es el establecimiento, en primer lugar.

En este caso, el parámetro x_i , de los parámetros externos se supone que tiene un valor que depende de un fenómeno irregular o estocástico y también que tiene un valor medio $x_{i \text{ med}}$ y una varianza σ_{xi}^2 . A continuación, se supone que x_i puede obtener temporalmente valores variables individuales $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN}$.

A continuación, se supone que la media $x_{i \text{ med}}$ puede venir dada por la Ec. 1.1 y la varianza σ_{xi}^2 puede venir dada por la Ec. 1.2.

$$5 \quad x_{i \text{ ave}} = \frac{x_{i_1} + x_{i_2} + \dots + x_{i_N}}{N} \quad \dots \text{Ec. 1.1}$$

$$\sigma_{xi}^2 = \frac{(x_{i \text{ ave}} - x_{i_1})^2 + (x_{i \text{ ave}} - x_{i_2})^2 + \dots + (x_{i \text{ ave}} - x_{i_N})^2}{N} \quad \dots \text{Ec. 1.2}$$

10 Cuando los valores variables temporalmente individuales $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN}$ se describen en la forma de $x_{i1} = x_{i \text{ med}} + \Delta_1$, $x_{i2} = x_{i \text{ med}} + \Delta_2$, ..., $x_{iN} = x_{i \text{ med}} + \Delta_N$, usando una media $x_{i \text{ med}}$ y la diferencia Δ_j de la media $x_{i \text{ med}}$, se pueden describir como las Ec. 1.3 y Ec. 1.4 a continuación.

$$\text{De la Ec. 1.1, } \Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_N = 0 \quad \dots \text{Ec. 1.3}$$

$$15 \quad \text{De la Ec. 1.2, } \frac{(\Delta_1)^2 + (\Delta_2)^2 + \dots + (\Delta_N)^2}{N} = \sigma_{xi}^2 \quad \dots \text{Ec. 1.4}$$

A continuación, cuando la función característica $f(x_1, x_2, \dots, y_1, y_2, \dots)$ para evaluar el sistema se expande alrededor de $x_{i \text{ med}}$ o con respecto a $x_{i \text{ med}} + \Delta$, usando la expansión de Taylor, se da la Ec. 1.5.

$$20 \quad f(x_1, x_2, \dots, x_{i \text{ med}} + \Delta, y_1, y_2, \dots) = f(x_1, x_2, \dots, x_{i \text{ med}}, y_1, y_2, \dots) + \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \Delta + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} \cdot \Delta^2 + \frac{1}{6} \frac{\partial^3 f}{\partial x_i^3} \cdot \Delta^3 + \dots \quad \dots \text{Ec. 1.5}$$

Cuando se determinan los valores esperados f_{med} de la función característica f con respecto a los valores individuales $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN}$ del parámetro externo x_i mediante el uso de la Ec. 1.5 anterior, se obtiene la Ec. 1.6.

$$25 \quad \begin{aligned} f_{\text{med}} &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f(x_1, x_2, \dots, x_i, y_1, y_2, \dots) \\ &= f(x_1, x_2, \dots, x_{i \text{ med}}, y_1, y_2, \dots) \\ &+ \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_N}{N} \right) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} \cdot \left(\frac{(\Delta_1)^2 + (\Delta_2)^2 + \dots + (\Delta_N)^2}{N} \right) \\ &+ \frac{1}{6} \frac{\partial^3 f}{\partial x_i^3} \cdot \left(\frac{(\Delta_1)^3 + (\Delta_2)^3 + \dots + (\Delta_N)^3}{N} \right) + \dots \end{aligned} \quad \dots \text{Ec. 1.6}$$

30 Cuando las ecuaciones Ec. 1.3 y Ec. 1.4 se sustituyen por la Ec. 1.6 anterior, se obtiene la Ec. 1.7.

$$\begin{aligned} f_{\text{med}} &= f(x_1, x_2, \dots, x_{i \text{ med}}, y_1, y_2, \dots) \\ &+ \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} \cdot \sigma_{xi}^2 + \frac{1}{6} \frac{\partial^3 f}{\partial x_i^3} \cdot \left(\frac{(\Delta_1)^3 + (\Delta_2)^3 + \dots + (\Delta_N)^3}{N} \right) + \dots \end{aligned} \quad \dots \text{Ec. 1.7}$$

35 Por ello, se deduce de la Ec. 1.7 que cuando las derivadas de tercer o mayor orden de $f(x_1, x_2, \dots, x_i, y_1, y_2, \dots)$ en x_i se hacen cero, es decir, cuando se satisface la Ec. 1.8 siguiente, se hace posible describir $f(x_1, x_2, \dots, x_i, y_1, y_2, \dots)$ en la forma $g(x_1, x_2, \dots, x_{i \text{ med}}, \sigma_{xi}^2, y_1, y_2, \dots)$.

$$\frac{\partial^3 f}{\partial x_i^3} = \frac{\partial^4 f}{\partial x_i^4} = \dots = 0 \quad \dots \text{Ec. 1.8}$$

40 Este es el caso cuando $f(x_1, x_2, \dots, x_i, y_1, y_2, \dots)$ está en la forma de una ecuación cuadrática con respecto a x_i . Específicamente, cuando

$$45 \quad \begin{aligned} f(x_1, x_2, \dots, x_i, y_1, y_2, \dots) \\ = a(x_1, x_2, \dots, y_1, y_2, \dots) \cdot x_i^2 + b(x_1, x_2, \dots, y_1, y_2, \dots) \cdot x_i + c(x_1, x_2, \dots, y_1, y_2, \dots) \end{aligned} \quad \dots \text{Ec. 1.9}$$

$$\begin{aligned} g(x_1, x_2, \dots, x_{i \text{ med}}, \sigma_{xi}^2, y_1, y_2, \dots) \\ = a \cdot x_i^2 + b \cdot x_i + c + a \cdot \sigma_{xi}^2 \end{aligned} \quad \dots \text{Ec. 1.10}$$

Esto indica que la condición para permitir que $f(x_1, x_2, \dots, y_1, y_2, \dots)$ se describa en la forma $g(x_1, x_2, \dots, x_{k1 \text{ med}}, \sigma_{xk1}^2,$

$x_{k2 \text{ med}}, \sigma_{xk2}^2, \dots, x_{i \text{ med}}, \sigma_{xi}^2, y_1, y_2, \dots$) se obtiene cuando $f(x_1, x_2, \dots, x_i, y_1, y_2, \dots)$ llega a estar en la forma de una ecuación cuadrática con el parámetro externo x_i que tiene una media de una varianza.

En un ejemplo de referencia, se debería observar que si $f(x_1, x_2, \dots, x_i, y_1, y_2, \dots)$ no llega a estar exactamente en la forma de una ecuación cuadrática con respecto a x_i pero llega a estar cerca de una ecuación cuadrática, entonces se tendrán también en consideración las derivadas de segundo orden. Prácticamente, parece que hay muchos casos en los que la ecuación cuadrática es suficiente para aproximarse a las propiedades reales. Aunque se deduce de la Ec. 1.7 que se puede usar también una ecuación cúbica o superior para aproximarse a las propiedades reales, considerando el efecto de términos superiores a un término cuadrático, específicamente:

$$\frac{(\Delta_1)^3 + (\Delta_2)^3 + \dots + (\Delta_N)^3}{N}, \frac{(\Delta_1)^4 + (\Delta_2)^4 + \dots + (\Delta_N)^4}{N}, \dots$$

Para dar ejemplos reales a continuación:

(1) (Ejemplo de referencia) Caso en el que f ya está en la forma de una expresión lineal con respecto a x_i :

$$f = a \cdot x_i + b \quad \rightarrow \quad g = a \cdot x_{i \text{ med}} + b$$

Por ello, g tiene un valor óptimo obtenido mediante la media $x_{i \text{ med}}$.

(2) Caso en el que f llega a estar en la forma de una expresión cuadrática con respecto a x_i :

$$f = a \cdot x_i^2 + b \cdot x_i + c \quad \rightarrow \quad g = a \cdot x_{i \text{ med}}^2 + b \cdot x_{i \text{ med}} + c + a \cdot \sigma_{xi}^2$$

Por ello, g tiene un valor óptimo obtenido mediante la media $x_{i \text{ med}}$ y la varianza σ_{xi}^2 .

(3) (Ejemplo de referencia) caso en el que f llega a estar en la forma de una expresión cúbica con respecto a x_i :

$$f = a \cdot x_i^3 + b \cdot x_i^2 + c \cdot x_i + d \quad \rightarrow \quad g = a \cdot x_{i \text{ med}}^3 + 3a \cdot x_{i \text{ med}} \cdot \sigma_{xi}^2 + a \cdot \frac{(\Delta_{i_1})^3 + (\Delta_{i_2})^3 + \dots + (\Delta_{i_N})^3}{N} + b \cdot x_{i \text{ med}}^2 + b \cdot \sigma_{xi}^2 + c \cdot x_{i \text{ med}} + d$$

Por ello, g tiene un valor óptimo obtenido mediante la media $x_{i \text{ med}}$, la varianza σ_{xi}^2 y $\frac{(\Delta_{i_1})^3 + (\Delta_{i_2})^3 + \dots + (\Delta_{i_N})^3}{N}$.

Aunque se ha descrito anteriormente el caso en el que se elige un único parámetro externo que tenga un valor que dependa de un fenómeno irregular o estocástico o un único parámetro para el que se dé la media y la desviación estándar entre los parámetros externos, puede darse el caso en el que dos o más parámetros externos se elijan entre los parámetros externos. En este caso, f se puede describir en la forma de una expresión cuadrática que se refiere a esos parámetros. Tomemos por ejemplo el caso en el que se eligen dos parámetros para los que se dan la media y la desviación estándar.

Sean representados los parámetros externos para los que se dan la media y la desviación estándar como x , y . También, sean representadas sus medias y varianzas como x_{med} , y_{med} , σ_x^2 , σ_y^2 , respectivamente. Se supone que estos parámetros x , y no se correlacionan entre sí.

A continuación, suponiendo que la función característica $f(x, y)$ se puede disponer en la forma de una función cuadrática con dos incógnitas con respecto a x e y , y representando el coeficiente como a_{ij} , se puede describir como sigue.

$$f = a_{22} \cdot x^2 \cdot y^2 + a_{21} \cdot x^2 \cdot y^1 + a_{20} \cdot x^2 \cdot y^0 + a_{12} \cdot x^1 \cdot y^2 + a_{11} \cdot x^1 \cdot y^1 + a_{10} \cdot x^1 \cdot y^0 + a_{02} \cdot x^0 \cdot y^2 + a_{01} \cdot x^0 \cdot y^1 + a_{00} \cdot x^0 \cdot y^0$$

Recolocando esto en la forma de $x = x_{\text{med}} + \Delta_x$, $y = y_{\text{med}} + \Delta_y$ mediante el uso de la diferencia Δ entre los valores de variables temporalmente individuales y la media y sustituyéndolas a continuación en la función f ,

$$f = a_{22} \cdot (x_{\text{med}} + \Delta_x)^2 \cdot (y_{\text{med}} + \Delta_y)^2 + a_{21} \cdot (x_{\text{med}} + \Delta_x)^2 \cdot (y_{\text{med}} + \Delta_y) + a_{20} \cdot (x_{\text{med}} + \Delta_x)^2 + a_{12} \cdot (x_{\text{med}} + \Delta_x) \cdot (y_{\text{med}} + \Delta_y)^2 + a_{11} \cdot (x_{\text{med}} + \Delta_x) \cdot (y_{\text{med}} + \Delta_y) + a_{10} \cdot (x_{\text{med}} + \Delta_x) + a_{02} \cdot (y_{\text{med}} + \Delta_y)^2 + a_{01} \cdot (y_{\text{med}} + \Delta_y) + a_{00}$$

Cuando los términos de la función f anterior se expanden mediante el uso de la expansión de Taylor, se deben tener en cuenta los efectos de las medias y las varianzas de los parámetros externos en los términos expandidos que incluyen Δ_x , Δ_y , Δ_x^2 , Δ_y^2 , $\Delta_x \Delta_y$, $\Delta_x \Delta_y^2$, $\Delta_x^2 \Delta_y$, $\Delta_x^2 \Delta_y^2$, como coeficientes.

- 5 Se da el siguiente cambio de variables en los términos expandidos respectivos de la función f .

$$\textcircled{1} \quad \Delta_x \rightarrow 0 \quad \Delta_y \rightarrow 0 \quad \Delta_x^2 \rightarrow \sigma_x^2 \quad \Delta_y^2 \rightarrow \sigma_y^2 \quad \Delta_x \Delta_y \rightarrow 0,$$

$$\textcircled{2} \quad \Delta_x \Delta_y^2 \rightarrow 0 \quad \Delta_x^2 \Delta_y \rightarrow 0 \quad \Delta_x^2 \Delta_y^2 \rightarrow \sigma_x^2 \sigma_y^2$$

- 10 En el cambio de variables $\textcircled{1}$, $\Delta_x \rightarrow 0$, $\Delta_y \rightarrow 0$, $\Delta_x^2 \rightarrow \sigma_x^2$, $\Delta_y^2 \rightarrow \sigma_y^2$ se determinan a partir de las definiciones de las medias y de las varianzas. $\Delta_x \Delta_y \rightarrow 0$, se determina de la definición de "no correlacionado". Para los cambios de variables $\textcircled{2}$ se supone que se da el mismo cambio que en las anteriores.

- 15 $f(x, y)$ se puede describir en la forma de $g(x_{\text{med}}, y_{\text{med}}, \sigma_x^2, \sigma_y^2)$ mediante el uso de los cambios de variables $\textcircled{1}$ y $\textcircled{2}$ anteriores.

- 20 Siguiendo las secuencias anteriores, se realizará el cálculo para la optimización del sistema. Particularmente, cuando al menos una de entre una salida especificada de la batería, número de baterías, una salida especificada del convertidor de c.c./c.a. para convertir la salida de la batería y el número de convertidores de c.c./c.a. para la conversión de la salida batería se obtienen a partir de la salida de la batería de la batería de flujo redox para el equilibrado de la producción de energía eléctrica del equipo de generación que varía irregularmente en la producción de energía eléctrica, se pueden considerar los siguientes procedimientos. Primero, se determina la desviación estándar de la distribución de salida de la batería de flujo redox usada para el equilibrado de la producción de energía eléctrica del equipo de generación que varía de modo irregular en su producción de energía eléctrica. A continuación, en base a la desviación estándar resultante, se determina el al menos uno de entre la salida de la batería especificada, el número de baterías, la salida especificada del convertidor de c.c./c.a. y el número de convertidores de c.c./c.a.

- 30 Es preferible que la salida especificada del convertidor de c.c./c.a. esté en el intervalo de no menos de 1 vez a no más de 4 veces, o preferiblemente en el intervalo de no menos de 1 vez a no más de 2,5 veces, de la desviación estándar de la distribución de salida de la batería con respecto a la salida equilibrada de la producción de energía eléctrica. También, es preferible que la salida especificada de la batería esté en el intervalo de no menos de 0,7 veces a no más de 2 veces, o preferiblemente en el intervalo de no menos de 0,9 veces a no más de 1,5 veces, de la desviación estándar anterior. Cuando la salida especificada del convertidor o la de la batería de flujo redox satisfacen el valor especificado anteriormente, las pérdidas del sistema se pueden reducir adicionalmente, conduciendo a una mejora adicional en la eficiencia del sistema. La salida especificada de la batería se puede cambiar cambiando el área o la dimensión del electrodo, cambiando el número de células dispuestas en serie/paralelo y así sucesivamente. La salida especificada del convertidor se puede cambiar mediante el cambio en la capacidad de un dispositivo semiconductor usado en el convertidor, cambiando el número de dispositivos dispuestos en serie/paralelo y así sucesivamente.

- 45 La FIG. 1 es un gráfico que muestra una relación entre una pérdida característica de una batería de flujo redox y una tasa de pérdidas de la misma;
la FIG. 2 es un histograma de una salida de una batería de un sistema de baterías;
la FIG. 3 es un gráfico que muestra una característica de pérdidas de un convertidor con respecto a una salida de una celda final de la batería para c.a.
la FIG. 4 es un gráfico que muestra una relación entre una salida especificada del convertidor y una característica de pérdidas del mismo;
50 la FIG. 5 es un gráfico que muestra la característica de pérdidas de la batería de flujo redox con respecto a la salida de una celda final de la batería para c.a.
la FIG. 6 es un gráfico que muestra una relación entre un coeficiente de una fórmula de aproximación y un caudal de electrolito por unidad de tiempo para cada célula;
la FIG. 7 es un gráfico que muestra una relación entre una salida especificada de la batería de flujo redox y la característica de pérdidas de la misma;
55 la FIG. 8 es una vista esquemática que muestra un principio de funcionamiento de la batería de flujo redox.

A continuación, se describe una realización de la presente invención.

- 60 (Bosquejo de un método de cálculo de un valor óptimo de parámetro interno)

(1) Elegir x_1 , x_2 como parámetros externos. Elegir y_1 , y_2 como parámetros internos.

Se supone que el parámetro externo x_1 depende de un fenómeno irregular o estocástico y se proporcionan un valor medio $x_{1 \text{ med}}$ y una varianza σ_{x1}^2 . Se supone también que el parámetro externo x_2 tiene dado un valor fijo.

(2) Se determina una función característica para evaluar el sistema $f(x_1, x_2, y_1, y_2)$ y f se dispone en la forma de una ecuación cuadrática con respecto a x_1 .

$$f = a(x_2, y_1, y_2) x_1^2 + b(x_2, y_1, y_2) x_1 + c(x_2, y_1, y_2)$$

(3) Se proporciona una nueva función característica g que considera el valor medio $x_{1 \text{ med}}$ y una varianza σ_{x1}^2 del parámetro externo x_1 como sigue:

$$g = a(x_2, y_1, y_2) x_{1 \text{ med}}^2 + b(x_2, y_1, y_2) x_{1 \text{ med}} + c(x_2, y_1, y_2) + a(x_2, y_1, y_2) \sigma_{x1}^2$$

(4) y_i cuando la nueva función característica g toma un valor extremo, es decir, y_i cuando $\partial f / \partial y_i = 0$ o un valor máximo o un valor mínimo en un intervalo de variables de y_i es una candidata para optimizar g . A continuación, la y_i para optimizar g es un valor óptimo del parámetro interno.

A continuación, se explican en concreto el parámetro externo, el parámetro interno y la función característica f respectivamente. En el ejemplo, se hace referencia a un método de cálculo de un valor óptimo del parámetro interno que puede optimizar la eficiencia del sistema con la finalidad de equilibrar una producción de energía eléctrica del equipo de generación, tal como un equipo de generación de energía eléctrica eólica y un equipo de generación de energía eléctrica solar fotovoltaica, que varían irregularmente en la salida de su producción de energía eléctrica.

(El caso en que la salida de la batería es constante para una salida equilibrada de la electricidad) – ejemplo de referencia.

Una salida de la batería (de aquí en adelante se denomina como salida de batería) para la salida equilibrada de la producción de energía eléctrica se elige como el parámetro externo. En este caso, la salida de batería se considera que es constante. También, se toman como parámetros internos una salida especificada de la batería de flujo redox, una salida especificada del convertidor, un caudal de electrolito y una temperatura del electrolito.

Con la eficiencia del sistema en el momento de la carga o descarga eléctrica definida mediante ① salida de batería/(salida de batería + pérdidas) y ② (salida de batería – pérdidas)/salida de batería y una tasa de pérdidas definida mediante ③ pérdidas/salida de batería, la condición para maximizar la eficiencia del sistema o la condición para minimizar la tasa de pérdidas se determina con respecto a cada definición. En cualquier caso, la eficiencia del sistema o la tasa de pérdidas se diferencian parcialmente con respecto a la salida de batería y el parámetro interno para determinar la condición para maximizar la eficiencia del sistema o la condición para minimizar la tasa de pérdidas. ① se describe a continuación en primer lugar.

Sea representada la salida de batería como x , el parámetro interno como y , la pérdida como $f(x, y)$ y la eficiencia del sistema en el momento de la carga o descarga eléctrica como $\eta = x/(x + f)$. Cuando la eficiencia del sistema se maximiza, la eficiencia toma un valor extremo local. Por ello, la condición para maximizar la eficiencia del sistema es $\partial \eta / \partial x = 0, \partial \eta / \partial y = 0$, lo que conduce a las siguientes ecuaciones 2.1 y 2.2.

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{1 \cdot (x + f) - x \cdot \left(1 + \frac{\partial f}{\partial x}\right)}{(x + f)^2} = 0 \quad \dots \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial y} = \frac{0 \cdot (x + f) - x \cdot \left(0 + \frac{\partial f}{\partial y}\right)}{(x + f)^2} = 0 \quad \dots \quad \text{Ec. 2.2}$$

De que el denominador $(x+f)^2 > 0$ en las Ec. 2.1 y Ec. 2.2 se deduce que el numerador = 0. Por ello, con respecto a ①, la condición para maximizar la eficiencia del sistema se da cuando se satisfacen las siguientes ecuaciones 2.3 y 2.4.

$$\frac{f}{x} - \frac{\partial f}{\partial x} = 0 \quad \dots \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$\frac{\partial f}{\partial y} = 0 \quad \dots \quad \text{Ec. 2.4}$$

Se realizó el mismo cálculo para determinar las condiciones con respecto a ② y ③. Se encontró a partir de ello que las condiciones deducidas del hecho de que cuando la eficiencia del sistema se maximiza, la eficiencia toma un valor extremo local o cuando la tasa de pérdidas se minimiza, la tasa de pérdidas toma un valor extremo local son ambas la misma que la condición anterior. Para ser más específico, esas condiciones también satisfacen las Ec. 2.3

y Ec. 2.4. Esto significa que incluso cuando las definiciones de eficiencia del sistema sean diferentes y las cifras en sí mismas de la eficiencia sean diferentes, o incluso cuando se consideren desde el punto de vista de la tasa de pérdidas, la eficiencia del sistema se maximiza (la tasa de pérdidas se minimiza) con la misma salida de batería y parámetro interno. Por ello, la tasa de pérdidas se puede determinar haciendo una simulación matemática de la relación entre las pérdidas y la salida y el parámetro interno de la batería de flujo redox y a continuación dividiendo la pérdida resultante por la salida de la celda final de la batería para c.a. Se muestra en la FIG. 1 un ejemplo de un gráfico que muestra una relación entre una característica de pérdidas de la batería de flujo redox y una tasa de pérdidas de la misma.

Como se muestra en la FIG. 1, cuando se carga la electricidad (cuando la salida del sistema es positiva), la tasa de pérdidas de la batería y la del convertidor se minimizan cuando la salida del sistema está un poco por debajo del 150%, a partir de lo que se puede ver que la pérdida en la batería y la pérdida del convertidor se pueden minimizar en ese momento. Cuando se descarga electricidad, la tasa de pérdidas de la batería y la del convertidor se minimizan cuando la salida del sistema es aproximadamente del -100%, a partir de lo que se puede ver que la pérdida en la batería y la pérdida en el convertidor se pueden minimizar en ese momento.

De lo anterior, se puede ver que en el caso en que la salida de la batería es constante, se puede determinar la salida de la batería y el parámetro interno que puede permitir el maximizado de la eficiencia del sistema (minimizado de la tasa de pérdidas) o que puede permitir el minimizado de las pérdidas del sistema.

(Caso en el que la salida de la batería depende de un fenómeno estocástico)

A continuación, se toma en consideración el caso en el que la salida de la producción de energía eléctrica varía de modo irregular, o específicamente, el caso en el que la salida de la batería tiene una distribución de probabilidad. Sea representada la salida de la batería en un intervalo de tiempo regular (Δt) como $x_1, x_2, \dots, x_n$, el parámetro interno como y , la pérdida como $f(x_1, y), f(x_2, y), \dots, f(x_n, y)$ y la eficiencia del sistema en el momento de la carga o descarga de electricidad como η . La salida de la batería $x_1, x_2, \dots, x_n$, tiene una distribución de probabilidad de modo que la media x_{med} nos da la Ec. 3.1 y la varianza σ^2 nos da la Ec. 3.2. A continuación, cuando $f(x_i, y)$ se expande alrededor de x_{med} , usando la expansión de Taylor, se proporciona la Ec. 3.3.

$$x_{med} = \frac{\sum x_i}{n} \quad \dots \text{Ec. 3.1}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - x_{med})^2}{n} \quad \dots \text{Ec. 3.2}$$

$$f(x_i, y) = f(x_{med}, y) + \frac{\partial f}{\partial x} (x_i - x_{med}) + \frac{\partial^2 f}{2\partial x^2} (x_i - x_{med})^2 \quad \dots \text{Ec. 3.3}$$

Se deduce de la Ec. 3.1 que

$$\sum x_i = n \cdot x_{med} \quad \dots \text{Ec. 3.4}$$

y de la Ec. 3.3 que $\sum f(x_i, y)$ lo que conduce a la Ec. 3.5

$$\sum f(x_i, y) = n \cdot (f(x_{med}, y) + \frac{\partial^2 f}{2\partial x^2} s^2 + \dots) \quad \dots \quad \text{Ec. 3.5}$$

En este caso, si $n \cdot x_{med}$ de la Ec. 3.4 se toma como x en el caso en que la salida de la batería sea constante y la parte correspondiente de las Ec. 3.5 a Ec. 3.6 dada a continuación se toma como $f(x, y)$, a continuación se puede manejar también el caso en el que la salida de la batería tiene una distribución de probabilidad en la misma forma que en el caso en que la salida de la batería es constante.

$$n \cdot (f(x_{med}, y) + \frac{\partial^2 f}{2\partial x^2} s^2 + \dots) \quad \dots \quad \text{Ec. 3.6}$$

A continuación, si $f(x, y)$ es tomada como una función con x, y y la característica de pérdidas de la batería y la del convertidor son prácticamente tomadas como funciones gráficas, se pueden considerar las derivadas de tercer o mayor orden como sustancialmente cero. Siendo más específico, en caso en que se considera la distribución de probabilidad, la característica de pérdidas que se ha de manejar mediante $f(x) = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$ (Ec. 3.7) con respecto a la salida de batería constante x se puede manejar mediante $g(x_{med}, s^2) = a \cdot x_{med}^2 + b \cdot x_{med} + c + a \cdot s^2$ (Ec. 3.8) con respecto a la media de salidas de la batería y la varianza σ^2 .

(Ejemplo)

Se produjeron un sistema de batería de flujo redox que incluye el equipo de generación que varía de modo irregular en su producción de energía eléctrica, una batería de flujo redox para el equilibrado de la producción de energía eléctrica irregular y un convertidor c.c./c.a. para la conversión de la salida de la batería y se examinaron la características de pérdidas de la batería y las del convertidor.

Se usó una generación de energía eléctrica eólica que tenía una salida máxima de generación de potencia eléctrica de 400 kW (salida especificada de generación de potencia eléctrica: 275 kW) como el equipo de generación. Se produjo una batería de flujo redox que tenía la construcción mostrada en la FIG. 8 como la batería de flujo redox y se fijó en una salida de batería especificada de 170 kW (aproximadamente el 60% de la salida de potencia de la generación de potencia eléctrica). Se usó un convertidor c.c./c.a. que tenía una salida de convertidor especificada de 275 kW. Se muestra en la FIG. 2 un histograma de una salida de batería durante 8 horas para el sistema de batería que comprende el equipo de generación, la batería de flujo redox y el convertidor. Se muestran a continuación las características de la distribución. La desviación estándar se determinó para el equilibrado de la generación de potencia eléctrica del equipo de generación mediante el uso de la batería, seguido por la distribución de la salida de la batería con respecto a la generación de potencia eléctrica equilibrada resultante. La expresión de "salida especificada de la batería" significa la salida a la que la eficiencia del sistema se maximiza durante la operación de equilibrado de cargas de la batería. También, la expresión de "salida especificada del convertidor" significa una salida para la que la eficiencia de conversión de c.c.-c.a. o c.a.-c.c. se maximiza.

La característica de distribución de carga/descarga de potencia en el momento del equilibrado de la generación de potencia eléctrica:

Salida equilibrada de la generación de potencia eólica	: 200 kW
Valor medio de salida de la batería	: 0,9 kW
Desviación estándar de la salida de la batería	: 54,1 kW
Media del valor absoluto de la salida de la batería	: 44,4 kW

(Determinación del número de convertidores)

A continuación, se determinó la característica de pérdidas del convertidor de c.c./c.a. (mediante ensayos en fábrica). Los resultados se muestran en la FIG. 3. Se halla a partir de una curva aproximada mostrada en la FIG. 3 que se deduce de la Ec. 3.7 que las pérdidas en el convertidor son $f(x) = 1,22 \times 10^{-4} \cdot x^2 - 1,74 \times 10^{-6} \cdot x + 4,58$ con respecto a la salida de batería constante x . Por ello, se deduce de la Ec. 3.8 que un valor esperado de la característica de pérdidas con respecto a la salida de batería en el momento de la operación de equilibrado de la generación de potencia eléctrica eólica que tiene la probabilidad de distribución $g(x_{med}, \sigma^2) = 1,22 \times 10^{-4} (0,9^2 + 54,1^2) - 1,74 \times 10^{-6} \cdot 0,9 + 4,58 = 4,94$ kW ($x_{med} = 0,9$, $\sigma^2 = 54,1^2$). Se ha de observar que en $g(x_{med}, \sigma^2)$ de la ecuación anterior, el valor medio x_{med} tiene unos efectos despreciables sobre las pérdidas.

El parámetro interno que puede contener la característica de pérdidas del convertidor de la salida especificada de 275 kW se explica adicionalmente en concreto. Por ejemplo, el caso en que se dispongan n convertidores de la salida especificada de 275 kW en paralelo se considera como el parámetro interno. Entonces, la salida para cada convertidor es $1/n$. Entonces, el valor esperado de la característica de pérdidas para cada convertidor es $f(x) = 1,22 \times 10^{-4} \cdot (x/n)^2 - 1,74 \times 10^{-6} \cdot (x/n) + 4,58$. Entonces, el valor esperado de las características de pérdidas totales en el caso en el que se disponen n convertidores de la salida específica de 275 kW en paralelo es $f(x, n) = 1,22 \times 10^{-4} / n \cdot x^2 - 1,74 \times 10^{-6} \cdot x + 4,58 \cdot n$. Por ello, $g(x_{med}, \sigma^2, n) = 1,22 \times 10^{-4} / n (x_{med}^2 + \sigma^2) - 1,74 \times 10^{-6} \cdot x_{med} + 4,58 \cdot n$. Se deduce de que la media: $x_{med} = 0,9$, y la varianza $\sigma^2 = 54,1^2$ que $g(n) = 1,22 \times 10^{-4} / n (0,9^2 + 54,1^2) - 1,74 \times 10^{-6} \cdot 0,9 + 4,58 \cdot n \approx 0,3572/n - 1,57 \times 10^{-6} + 4,58 \cdot n$. Entonces, se haya n de modo que $\partial g / \partial n = 0$, $-0,3572/n^2 + 4,58 = 0$, o sea $n \approx 0,28$.

Un intervalo de la variable n es $0 \leq n \leq \infty$. Entonces, 0 se puede citar como un valor mínimo posible de n e infinito se puede citar como un valor máximo posible, pero cuando $n \rightarrow 0$, $g \rightarrow \infty$ y cuando $n \rightarrow \infty$, $g \rightarrow \infty$, de modo que $n \approx 0,28$ citada anteriormente es un valor óptimo.

Esto significa que cuando se usan 0,28 convertidores de la salida especificada de 275 kW, se puede minimizar la pérdida. En otras palabras, cuando se usa un convertidor de una salida especificada de $275 \times 0,28 \approx 77$ kW, la pérdida se puede minimizar. La FIG. 4 muestra el valor esperado de la característica de pérdida del convertidor (pérdidas del convertidor).

Se puede ver a partir de la FIG. 4 que en este ejemplo, cuando la salida especificada del convertidor de c.c./c.a. está en el intervalo desde aproximadamente 50 kW a aproximadamente 200 kW (de aproximadamente 1 a aproximadamente 4 veces de la desviación estándar de 54,1 kW), o particularmente en el intervalo de

aproximadamente 50 kW a aproximadamente 120 kW (de aproximadamente 1 a aproximadamente 2,2 veces de la misma), la pérdida en el convertidor se reduce y por ello las pérdidas en el sistema se pueden reducir. A partir de lo anterior, se puede ver que cuando la salida especificada se establece en 77 kW, las pérdidas en el sistema se pueden minimizar.

(Determinación del número de baterías y del caudal por unidad de tiempo)

A continuación se determinaron las características de pérdidas de la batería de flujo redox. Los resultados se muestran en la FIG. 5. Dado que las características de pérdidas de la batería varía dependiendo del caudal de electrolito por unidad de tiempo para cada célula, las características de pérdidas de la batería (pérdidas en la batería) se determinaron, variando el caudal como sigue

- ① 0,80 l/min · célula
- ② 1,00 l/min · célula
- ③ 1,15 l/min · célula

Las características de pérdidas de la batería se puedan determinar a partir de una curva aproximada mostrada en la FIG. 5 en la misma forma que en la del convertidor mencionado anteriormente. Tómese ② el caudal de 1,00 l/min · célula por ejemplo, se deduce de la Ec. 3.8 que $g(x_{med}, \sigma^2) = 4,33 \times 10^{-4} (x_{med}^2 + \sigma^2) - 2,28 \times 10^{-2} \cdot x_{med} + 11,6$ con respecto a la salida de la batería en el momento de la operación de equilibrado de la generación de energía eléctrica eólica teniendo esa distribución de probabilidad. Por ello, se deduce de $x_{med} = 0,9$, $\sigma^2 = 54,1^2$ que el valor esperado de la característica de pérdidas $g(x_{med}, \sigma^2) = 4,33 \times 10^{-4} \cdot (0,9^2 + 54,1^2) - 2,28 \times 10^{-2} \cdot 0,9 + 11,6 = 12,8$ kW. De modo similar, en el caso de ③ 0,80 l/min · célula, se deduce de la Ec. 3.8 que $g(x_{med}, \sigma^2) = 4,72 \times 10^{-4} (x_{med}^2 + \sigma^2) - 2,35 \times 10^{-2} \cdot x_{med} + 9,2$, de modo que el valor esperado de la característica de pérdidas $g(x_{med}, \sigma^2) = 10,6$ kW.

El parámetro interno que puede contener la característica de pérdidas de la batería de la salida especificada de 170 kW se explicada adicionalmente más en concreto. Por ejemplo, el caso en el que se dispongan n baterías de la salida especificada de 170 kW en paralelo se considera como el parámetro interno. También, se determina asimismo el caudal de electrolito por unidad de tiempo para cada célula para la condición de funcionamiento. Entonces, la salida para cada batería es 1/n. Entonces, las características de pérdidas para cada batería es $f(x) = a(x/n)^2 + b(x/n) + c$. Entonces, el valor esperado de la característica de pérdida total en el caso en el que se dispongan n baterías en paralelo es de $f(x, n) = ax^2/n + bx + c/n$. Los coeficientes a, b, c de $f(x, n)$ se deducen de una expresión aproximada mostrada en la FIG. 5. También, la relación entre los coeficientes a, b, c y el caudal de electrolito por unidad de tiempo para cada célula se muestra en la FIG. 6.

El gráfico de la FIG. 6 que muestra los coeficientes se traza, usando los coeficientes de sus funciones cuadráticas respectivas mostradas en la FIG. 5. Tómese el coeficiente a por ejemplo: cuando se determina la fórmula de aproximación a partir de los coeficientes cuadráticos de 4,14, 4,33 y 4,72 de sus funciones cuadráticas respectivas ①, ② y ③ mostradas en la FIG. 5, se puede determinar que sean $a(x \times 10^{-4}) = (-1,673) \cdot a' + 6,0418$, usando la varianza a' . Lo mismo aplica a los coeficientes b y c.

Entonces, se deduce a partir de las FIGS. 5 y 6 que $f(x, n, L) = \{(-1,673L + 6,0418) \times 10^{-4}\} / n - x^2 + \{(-0,073L + 2,3918) \times 10^{-2}\} \cdot x + \{(1,3622L - 0,1795) \times 10^{-1}\} \cdot n$, en la que L(l/min) es un caudal de electrolito para cada célula.

Por ello, $g(x_{med}, \sigma^2, n, L) = \{(-1,673L + 6,0418) \times 10^{-4}\} / n \cdot (x_{med} + \sigma^2) + \{(-0,073L + 2,3918) \times 10^{-2}\} \cdot x_{med} + \{(1,3622L - 0,1795) \times 10^{-1}\} \cdot n$. Se deduce de que la $x_{med} = 0,9$, $\sigma^2 = 54,1^2$ que $g(n, L) = (-0,490L + 1,769)/n + (-0,0657L + 2,153) \times 10^{-2} + \{(1,3622L - 0,1795) \times 10^{-1}\} \cdot n$. Entonces, cuando se halla n de modo que $\partial g / \partial n = 0$, $\partial g / \partial n = (-0,490L + 1,769)/n^2 + (13,622L - 1,795) = 0$, de modo que, $n = \sqrt{(-0,490L + 1,769) / (13,622L - 1,795)}$.

También, cuando se halla n de modo que $\partial g / \partial L = 0$, $\partial g / \partial L = -0,490/n - 0,000657 + 13,622 \cdot n = 0$. Entonces, se deduce de que $n > 0$, que $n \approx 0,19$. Entonces, se deduce de que $0,19 = \sqrt{(-0,490L + 1,769) / (13,622L - 1,795)}$, que $L \approx 1,87$ (litros/min.).

En este caso, si el caudal de electrolito de la batería de flujo redox mostrado en este ejemplo se supone que tiene un intervalo posible de 0,8 a 1,15 l/minuto, entonces $L \approx 1,87$ es un valor fuera del intervalo posible. Por ello, un valor óptimo posible en el intervalo variable de L es:

- Combinación de n de modo que $\partial g / \partial n = 0$ y el valor mínimo de 0,8 en el intervalo variable de L, es decir (n, L) = (0,39, 0,8), o
- Combinación de n de modo que $\partial g / \partial n = 0$ y el valor mínimo de 1,15 en el intervalo variable de L, es decir (n, L) = (0,29, 1,15).

Mediante la sustitución del valor anterior por $g(x_{med}, \sigma^2, n, L)$, se obtiene un valor óptimo cuando (n, L) = (0,39, 0,8).

Esto significa que cuando se usan 0,39 baterías con la salida especificada de 170 kW y el caudal de electrolito se fija en 0,8 l/minuto, se pueden minimizar las pérdidas. En otras palabras, cuando se usa una batería con una salida especificada de $170 \times 0,39 \approx 63,3$ kW, se pueden minimizar las pérdidas. La FIG. 7 muestra un gráfico de los valores esperados de $g(x_{med}, \sigma^2, n, L)$ (haciendo la $x_{med} = 0,9$ y la varianza $\sigma^2 = 54,1^2$) cuando el caudal del electrolito se toma para que esté en un intervalo posible de 0,8 a 1,15 l/minuto.

Se puede ver a partir de la FIG. 7 que en este ejemplo, cuando el caudal mostrado en ② anterior es de 1,00 l/min · célula, la salida de la batería especificada está en el intervalo de aproximadamente 40 kW a aproximadamente 100 kW (aproximadamente 0,74 a aproximadamente 2 veces la desviación estándar de 54,1 kW), o particularmente en el intervalo de aproximadamente 50 kW a aproximadamente 80 kW (de aproximadamente 0,92 a aproximadamente 1,5 veces de la misma), se reducen las pérdidas de la batería y por ello se pueden reducir las pérdidas en el sistema. A partir de lo anterior, se puede ver que cuando el caudal se fija en 0,8 l/minuto por célula y la salida de la batería especificada se fija en 63,3 kW, se pueden minimizar las pérdidas en el sistema.

A partir de lo anterior, se ha encontrado que cuando el sistema carga o descarga electricidad de modo irregular, con Un valor medio de la potencia cargada/descargada del sistema de sustancialmente cero, para estabilización de la generación de energía eléctrica eólica y otras similares, el diseño de los parámetros internos, tal como la salida especificada de la batería, la salida especificada del convertidor de c.c./c.a. y el caudal de electrolito, se pueden determinar a partir de las estadísticas básicas que usan el valor medio y la varianza de los parámetros de salida de la batería y así sucesivamente que un diseñador no puede elegir voluntariamente. Se confirmó también que cuando al menos o bien la salida especificada de la batería o bien la salida especificada del convertidor se determinan tomando la desviación estándar en consideración, se pueden reducir las pérdidas en el sistema. Se halló que era particularmente preferible que la salida especificada de la batería se estableciese para estar en el intervalo de no menos de 0,7 veces a no más de 2 veces la desviación estándar y la salida especificada del convertidor se estableciera para estar en el intervalo desde no menos de 1 vez a no más de 4 veces de la desviación estándar. Esto es debido a que cuando la salida especificada de la batería y la salida especificada del convertidor están en estos intervalos, respectivamente, las pérdidas en el sistema se reducen adicionalmente, conduciendo a una eficiencia del sistema adicionalmente mejorada.

En el sistema de este ejemplo, si la variación se equilibra para ser desde aproximadamente 1,5 veces a aproximadamente 2 veces como en el ejemplo para, por ejemplo, incrementar el número de generadores eólicos y ventanas de tiempo a ser equilibradas, entonces se estima que las pérdidas en el convertidor se reducirán $(5-2,5)/5 =$ aproximadamente el 50% (Cf. FIG. 4) y las pérdidas en la batería se reducirán en $(15-8)/15 =$ aproximadamente 47%, consiguiendo de ese modo una reducción de las pérdidas en el sistema. En otras palabras, en el sistema de este ejemplo, las pérdidas en el convertidor + pérdidas en la batería = $5+15 =$ aproximadamente 20 kW de pérdidas a 44,4 kW que es la media del valor absoluto de la salida de la batería se reducen a $2,5+8 =$ aproximadamente 10,5 kW en total. Por ello, la tasa de pérdidas del sistema se puede reducir aproximadamente a la mitad, desde $20/44,4 =$ aproximadamente 45% a $10,5/44,4 =$ aproximadamente 24%.

(Muestra de ensayo)

Se examinaron las pérdidas en el sistema, variando la salida especificada de la batería de flujo redox y la salida especificada del convertidor de c.c./c.a. usados en el ejemplo mencionado anteriormente. En el ensayo, se usó una generación de energía eléctrica eólica para todas las muestras, con su salida máxima establecida en 400 kW y su salida especificada de producción de energía eléctrica establecida en 285 kW. Las salidas especificadas de la batería de flujo redox y del convertidor usadas en el ensayo, y las pérdidas en el sistema de la batería usadas en el ensayo se muestran en la TABLA 1.

TABLA 1

Muestra número	Salida especificada de la batería (kW)	Salida especificada del convertidor (kW)	Pérdidas en el sistema de baterías (kW)	Equilibrado de la generación de energía eléctrica eólica
1	170	275	20	Bueno
2	85	147	10	Bueno
3	60	200	10	Bueno

En las muestras N° 2 y N° 3, la salida especificada de la batería de flujo redox y la salida especificada del convertidor de c.c./c.a. se determinaron a partir de la desviación estándar de la salida de la batería determinada en el ejemplo mencionado anteriormente. En la muestra N° 2 la salida especificada de la batería se incrementó en 1,6 veces la desviación estándar de 54,1 kW y la salida especificada del convertidor se incrementó en 2,7 veces la desviación estándar de la misma. En la muestra N° 3, la salida especificada de la batería se incrementó en 1,1 veces la desviación estándar de 54,1 kW y la salida especificada del convertidor se incrementó en 3,7 veces la desviación estándar del mismo. Por otro lado, en la muestra N° 1, la salida especificada de la batería y la del convertidor se determinaron sin ninguna consideración particular a la desviación estándar de la salida de la batería. Se halló a partir de estos resultados de ensayo que las muestras N° 2 y N° 3 redujeron las pérdidas en el sistema de baterías a

aproximadamente la mitad de las de la muestra N° 1.

5 Como se ha explicado anteriormente, el método de diseño de un sistema de baterías de caudal redox de la presente invención puede proporcionar el resultado ventajoso de que la función característica para evaluar el sistema se puede optimizar determinando un valor óptimo del parámetro interno en base al valor medio y la desviación estándar del parámetro externo.

10 Particularmente mediante la determinación de la salida especificada de la batería y la del convertidor de c.c./c.a. en base al valor medio de la salida de la batería y de la desviación estándar, se pueden reducir las pérdidas en el sistema. Esto permite reducir las pérdidas en el sistema de baterías sin anexar una batería de almacenamiento de plomo al sistema, como lo hace la técnica relacionada. Esto puede proporcionar una escala reducida del equipo del sistema y por ello un sistema más económico, en comparación con la técnica relacionada. Adicionalmente, dado que no se requiere una batería de almacenamiento de plomo, se pueden reducir los costes de producción.

15

REIVINDICACIONES

1. Un método de diseño de un sistema de batería de flujo redox que comprende una batería de flujo redox para forzar una solución electrolítica a ser alimentada a y descargada desde sus células y un convertidor de c.c./c.a. para la conversión de una salida de la batería, comprendiendo el método las etapas de:

la determinación de un parámetro externo x dado por una condición de funcionamiento de la batería de flujo redox que un diseñador no puede elegir voluntariamente, en el que el parámetro externo x es una salida de la batería de flujo redox para el equilibrado de una producción de energía eléctrica del equipo de generación que varía de modo irregular su producción de energía eléctrica,

la determinación de un parámetro interno y dado por una condición de diseño de la batería de flujo redox que el diseñador puede elegir voluntariamente, siendo el parámetro interno y al menos uno de entre una salida especificada de la batería de flujo redox, el número de baterías, la salida especificada del convertidor c.c./c.a. y el número de convertidores de c.c./c.a.,

la determinación de un valor medio x_{med} y una desviación estándar s_x de la distribución de salida de la batería de flujo redox con respecto a la salida equilibrada del equipo de generación,

la determinación de la característica de pérdidas de la batería de flujo redox o del convertidor c.c./c.a. con respecto a la salida de la batería de flujo redox y permitir que la característica de pérdidas determinada sea una función característica representada como $f(x, y)$ que incluye el parámetro externo x y el parámetro interno y para a continuación disponerlo en la forma de una función cuadrática con respecto a x en la siguiente ecuación (1):

$$f = a(y) x^2 + b(y) x + c(y) \quad \dots \quad \text{Ecuación (1)}$$

rescribir la ecuación (1) en la forma de una nueva función característica representada como g que considera el valor medio x_{med} y la varianza s_x^2 del parámetro externo x como en la siguiente ecuación (2):

$$g = a(y) x_{med}^2 + b(y) x_{med} + c(y) + a(y) s_x^2 \quad \dots \quad \text{Ecuación (2)}$$

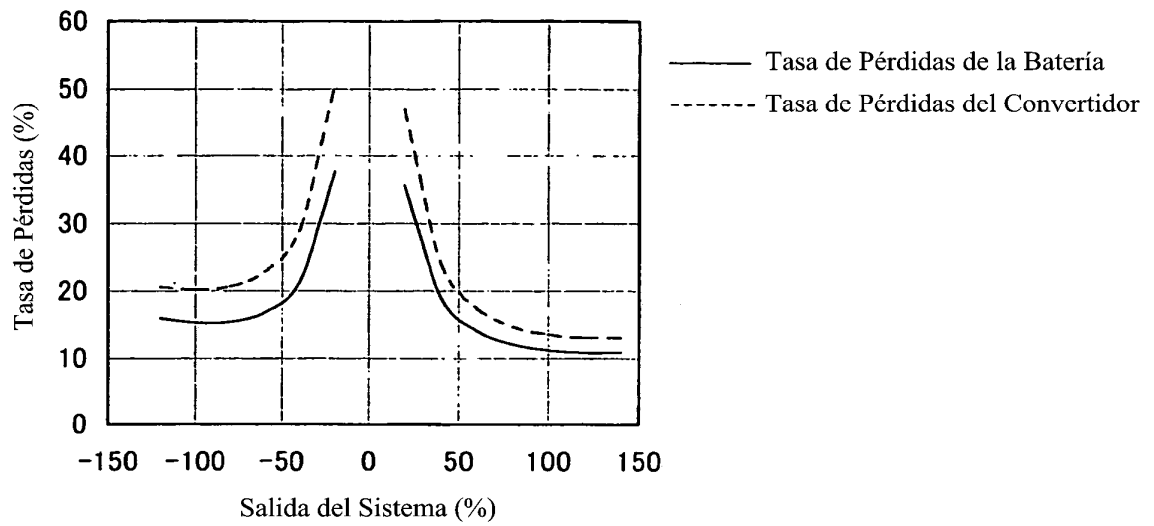
y determinar un valor óptimo del parámetro interno y para la optimización de la función característica representada como g de entre los siguientes candidatos: y cuando g toma un valor extremo local o un valor máximo o un valor mínimo en un intervalo variable de y ,

en el que la salida especificada de la batería de flujo redox es una salida en la que la eficiencia del sistema se maximiza y la salida especificada del convertidor c.c./c.a. es una salida en la que la eficiencia de la conversión c.c.→c.a. o c.a.→c.c. se maximiza.

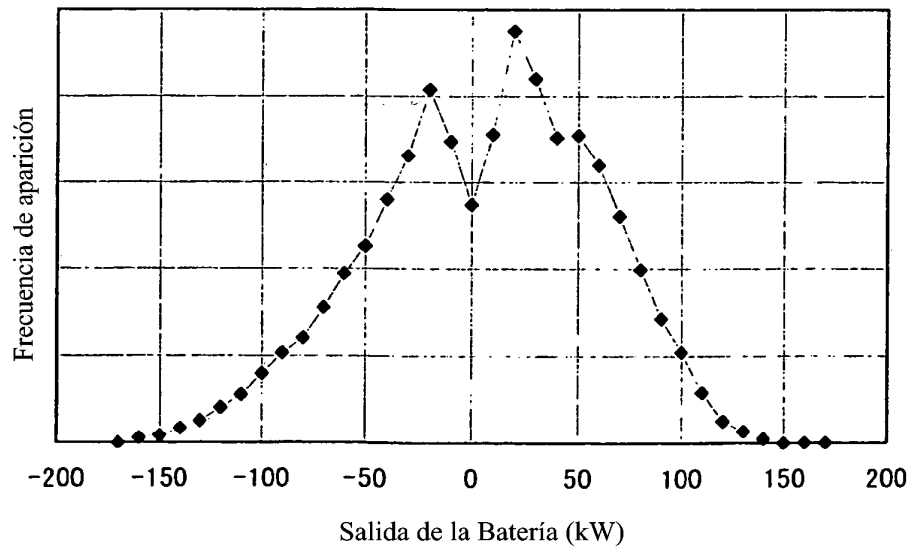
2. El método de diseño del sistema de batería de flujo redox de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que la salida especificada del convertidor de c.c./c.a. se establece para que esté en el intervalo de no menos de 1 vez a no más de 4 veces la desviación estándar.

3. El método de diseño del sistema de batería de flujo redox de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que la salida especificada de la batería se establece para que esté en el intervalo de no menos de 0,7 veces a no más de 2 veces la desviación estándar.

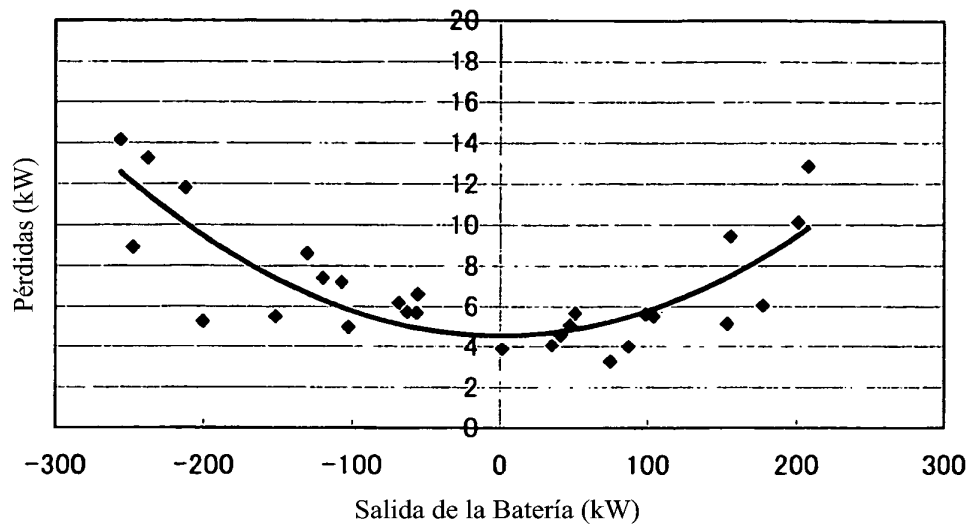
F i g . 1



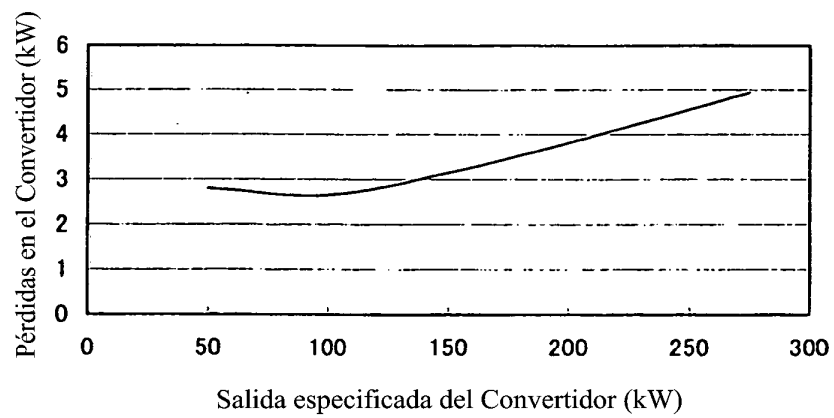
F i g . 2



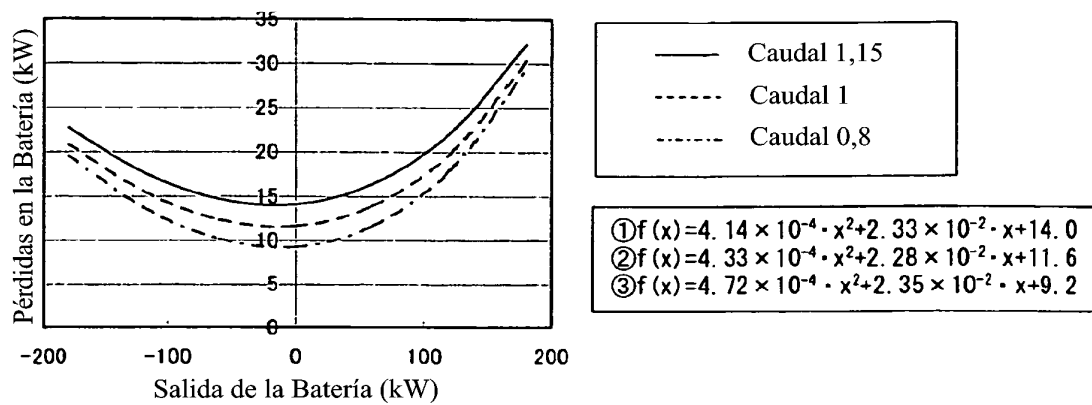
F i g . 3



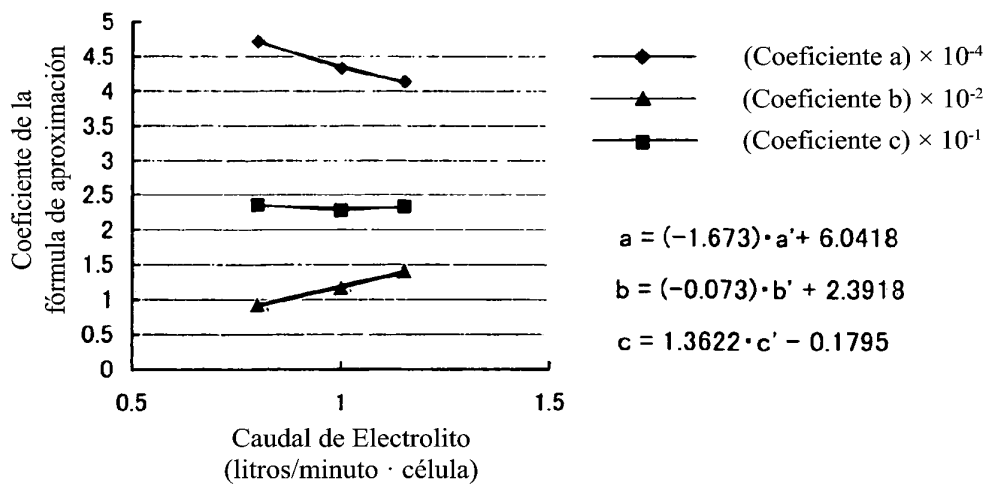
F i g . 4



F i g. 5



F i g. 6



F i g . 7

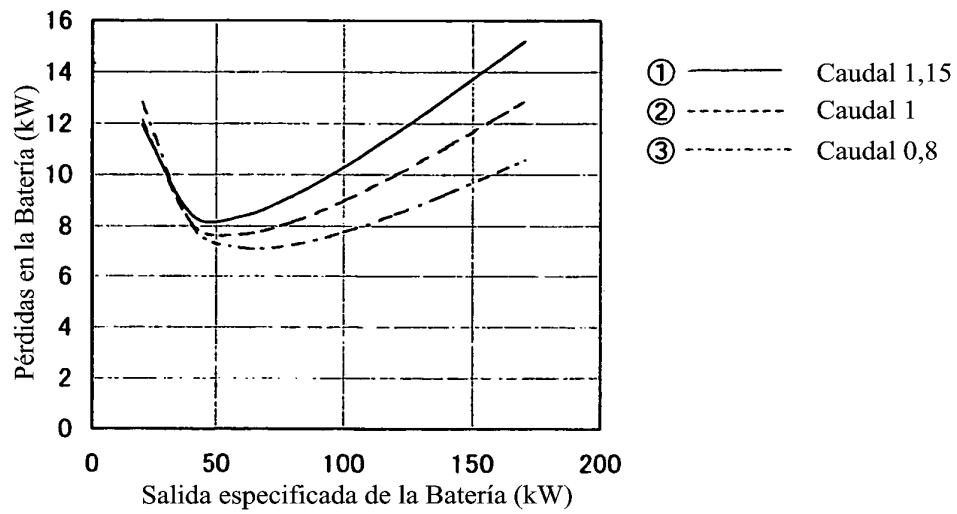


Fig. 8

