



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 285 296**

⑤1 Int. Cl.:
H01M 8/24 (2006.01)
H01M 8/04 (2006.01)

①2

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧6 Número de solicitud europea: **04006126 .9**
⑧6 Fecha de presentación : **15.03.2004**
⑧7 Número de publicación de la solicitud: **1577972**
⑧7 Fecha de publicación de la solicitud: **21.09.2005**

⑤4 Título: **Sistema de pilas de combustible con módulos de purga y proceso de funcionamiento.**

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.11.2007

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.11.2007

⑦3 Titular/es: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE

⑦2 Inventor/es: **Bette, Willi;**
Coerlin, Detlev;
Stühler, Walter y
Voitlein, Ottmar

⑦4 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de pilas de combustible con módulos de purga y proceso de funcionamiento.

5 La presente invención trata de un sistema de pilas de combustible, especialmente de un sistema de pilas de combustible que comprende varios módulos parciales de pilas de combustible dispuestos en cascada, así como un procedimiento para poner en funcionamiento este sistema de pilas de combustible.

10 En los sistemas de pilas de combustible, se utilizan distintos tipos de pilas de combustible en función del campo de aplicación. Estos tipos diferencian los electrolitos de la pila de combustible especialmente en cuanto al gas de reacción utilizado y en cuanto a la temperatura de funcionamiento de la pila de combustible. Por regla general, se apilan numerosas pilas de combustible individuales formando un apilamiento de pilas de combustible que aumentan la potencia eléctrica del sistema de pilas de combustible. Las pilas de combustible individuales se colocan eléctricamente de manera alineada entre sí. Durante el funcionamiento del sistema de pilas de combustible, se carga el apilamiento de pilas de combustible, también denominado módulo de pilas de combustible en lo sucesivo, con dos gases de reacción, es decir, por un lado, con un gas anódico o combustible, por ejemplo, el hidrógeno, y por otro lado, con un gas catódico, por ejemplo, el oxígeno, aire o aire enriquecido con oxígeno.

20 La llamada pila de combustible PEM funciona a una temperatura de $<80^{\circ}\text{C}$. El agua de reacción producida durante el funcionamiento por el lado del gas catódico se acumula de forma líquida debido a esta temperatura de funcionamiento baja y debe transportarse con un exceso de gas de reacción desde la cámara de gas catódico de la pila hacia el exterior. Asimismo, en la cámara de gas anódico o combustible, se origina agua que también debe transportarse con un exceso de gas desde la pila correspondiente. A este proceso también se le denomina purga. Debido a la necesidad de realizar el proceso de purga al menos de vez en cuando, se produce la pérdida de gas combustible y, sobre todo, al funcionar con oxígeno puro, también la pérdida no deseada de gas catódico. Por lo tanto, disminuye el grado de rendimiento del sistema de pilas de combustible. Especialmente al utilizar hidrógeno, surge también el problema de que debe garantizarse que el gas combustible que salga no pueda enriquecerse formando una mezcla explosiva por motivos de seguridad.

30 Para conseguir la menor pérdida posible de gas de reacción, se utiliza el principio del llamado sistema en cascada. En este caso, el apilamiento de pilas de combustible o el módulo de pilas de combustible se divide en varios módulos parciales, que se disponen sucesivamente en cascada. Cada módulo parcial se coloca normalmente por el lado del gas y eléctricamente de manera alineada. Los módulos parciales individuales se alimentan por el lado de gas con un exceso de gas de reacción, de modo que el gas de reacción residual que sale del primer módulo parcial se transporte por el lado de entrada al siguiente módulo parcial. Entre los módulos parciales individuales, están previstos normalmente separadores de agua, que separan el agua llevada desde módulo parcial anterior de la corriente de gas para transportar al siguiente módulo parcial un gas de reacción deshidratado en la medida de lo posible. Así los módulos parciales individuales se adaptan a la corriente de gas de reacción restante en cuanto a su volumen y acondicionamiento. El módulo parcial dispuesto por último en el sentido del flujo del gas de reacción puede cerrarse por el lado de salida mediante una válvula, especialmente una válvula magnética. Además este último módulo parcial está formado por un apilamiento de pilas de combustible o sólo por una pila de combustible individual.

45 Según la pureza de los gases de reacción utilizados, también se originan gases inertes durante la reacción en los módulos parciales individuales, que se enriquecen en el módulo de purga cuando la válvula de purga está cerrada. Estos gases inertes provocan la disminución de la potencia eléctrica del módulo de purga durante el funcionamiento. Ya que los módulos parciales individuales se conectan eléctricamente de manera alineada, la corriente en el módulo de pilas de combustible se extiende al último módulo parcial (módulo de purga). Por tanto, la reducción de la potencia eléctrica provoca una caída de tensión. A partir de un valor límite de tensión inferior definido, se abre normalmente la válvula de purga, de modo que los gases inertes y el agua acumulada se purgan con un exceso de gas de reacción. La proporción del gas todavía reactivo, que se purga conjuntamente en este proceso, depende considerablemente del valor límite de tensión ajustado. Sin embargo, éste no puede ajustarse al valor mínimo que se quiera. En los sistemas de pilas de combustible convencionales, se asume, por ejemplo, una proporción del 0,5 % como máximo de gases de reacción sin consumir.

55 Como alternativa a esta regulación dependiente de la tensión, también es posible una regulación según la corriente. En este caso, se conectan eléctricamente dos pilas o un apilamiento de pilas de manera paralela en el módulo de purga, y por el lado de gas, de manera alineada. En la última pila por el lado de gas se acumulan más gases inertes que en la penúltima pila. Los flujos eléctricos de ambas pilas conectadas paralelamente se comparan y, al sobrepasar una diferencia de corriente predefinida, se purga la última pila de purga. En esta regulación dependiente de la corriente, la proporción de reactantes sin consumir, que se purgaron, es inferior que en la regulación dependiente de la tensión. Sin embargo, se requieren unos elevados costes de circuitos para una regulación dependiente de la corriente. En especial, se rompe el principio del apilamiento de pilas. Debido a estos gastos suplementarios, la regulación dependiente de la corriente no ha conseguido ninguna relevancia práctica.

65 La función de la presente invención consiste en facilitar un sistema de pilas de combustible, especialmente un sistema de pilas de combustible PEM en cascada, en el que se alcance un alto grado de rendimiento y se desprenda sólo una pequeña proporción de los gases de reacción sin consumir al exterior.

La función se soluciona, según la presente invención, mediante un sistema de pilas de combustible según la reivindicación 1. Este muestra un módulo principal de pilas de combustible y un módulo secundario de pilas de combustible. El módulo principal se conecta a un circuito de corriente de carga principal y el módulo secundario, a un circuito de corriente de carga secundario independiente del circuito de corriente de carga principal. Los dos módulos se unen además a través de una tubería de gas para gas de reacción residual, que se suministra del módulo principal al módulo secundario.

La ventaja determinante de este sistema de pilas de combustible debe verse en que el módulo principal y el módulo secundario se conectan eléctricamente de manera independiente entre sí y, al mismo tiempo, el gas de reacción residual, que sale del módulo principal, se suministra al módulo secundario como gas de reacción. Mediante la disposición eléctrica por separado de los dos módulos, la densidad de corriente generada en el módulo principal no se extiende al módulo secundario. Por tanto, mediante esta disposición puede ponerse en funcionamiento el módulo secundario con una densidad de corriente bastante inferior y, a la vez, un valor de tensión suficientemente alto. Con un valor límite de tensión inferior comparable, como el que utiliza en una regulación dependiente de la tensión convencional, esto significa que el módulo secundario puede ponerse en funcionamiento con una potencia de salida eléctrica bastante inferior. Por tanto, se permite una proporción elevada de gases inertes en el módulo secundario o se expulsa a la inversa, la proporción de gases de reacción sin consumir disminuye debido a esta disposición claramente en comparación con la regulación dependiente de la tensión convencional. Gracias a esta medida, aumenta el grado de rendimiento total del sistema de pilas de combustible. Dado que se emplea el gas residual del módulo secundario, también puede prescindirse de un sistema de cascada en el módulo principal, de modo que sea posible disponer de una estructura sencilla. Además se reduce la cantidad del gas de reacción que sale. Sobre todo, al utilizar hidrógeno como gas combustible, también se mantienen los estrictos valores límite de la proporción de hidrógeno purgado hacia el exterior. Especialmente con pilas de combustible en espacios cerrados, por ejemplo, en submarinos, deben mantenerse valores-límite muy estrictos para la concentración de hidrógeno.

Convenientemente un sistema de pilas de combustible es un sistema de pilas de combustible PEM, que comprende varios módulos parciales dispuestos en cascada, ya que pueden conseguirse grados de rendimiento muy elevados con el principio del sistema de cascada.

Está previsto preferiblemente un regulador de tensión, que regula la tensión del módulo secundario en el circuito de carga secundario. Por tanto, la tensión del módulo secundario se regula preferiblemente con un valor de referencia de tensión constante, es decir, al aumentar el enriquecimiento de gases inertes, disminuye sucesivamente la densidad de corriente para conseguir adecuadamente el valor de referencia de tensión deseado. En este caso, para la regulación de la tensión se coloca, en un acondicionamiento conveniente, una carga electrónica regulable, especialmente, un convertidor de corriente diseñado como un convertidor CC-CC, en el circuito de corriente de carga secundario. En éste actúa el regulador de tensión. La carga electrónica forma un elemento de ajuste o un tamaño de ajuste para el regulador de tensión. Convenientemente se purga una pila de purga del sistema de pilas de combustible al alcanzar el margen inferior de regulación, es decir, los gases inertes acumulados y el agua acumulada se purga junto con una baja proporción de gas de reacción residual cuando la válvula se abre y se expulsa al exterior. La válvula puede abrirse en función de la tensión o de la corriente. Esto significa que la válvula se abre cuando ya no pueda mantenerse un valor de referencia de tensión definido, o cuando la densidad de corriente no haya alcanzado un valor límite inferior de corriente.

Para aumentar el grado de rendimiento, se emplea convenientemente la energía eléctrica, de la que se dispone a través del módulo de pilas secundario, para alimentar un consumidor del sistema de pilas de combustible. Dado que el sistema de pilas de combustible cubre su demanda energética a partir de la corriente eléctrica que produce por sí mismo, aumenta la cantidad de energía eléctrica suministrada por el sistema de pilas de combustible, por ejemplo, en una red eléctrica, y con ello el grado de rendimiento gracias a esta medida. Por consiguiente, el suministro principal de corriente del sistema de pilas de combustible facilita esta medida.

En un acondicionamiento conveniente, está previsto, entre el módulo principal y el módulo secundario, que se colocan por el lado de gas de una manera alineada entre sí, un separador de agua para el gas de reacción residual del módulo principal.

El concepto descrito anteriormente con el módulo secundario conectado eléctrica e independientemente del módulo principal puede hacerse realidad mediante dos variantes. Según una primera variante, el sistema de pilas de combustible se crea preferiblemente, de manera que el módulo principal con el módulo secundario forme un componente, que a continuación se denomina módulo de pilas de combustible. En este módulo de pilas de combustible, el módulo secundario se diseña como un módulo de purga, es decir, el módulo secundario por el lado de gas es el último módulo parcial del módulo de pilas de combustible y, por el lado de salida, se conecta con el exterior en una tubería de purga que puede cerrarse con una válvula de purga. En esta variante de modelo, el módulo de pilas de combustible, que se diseñó especialmente como un componente estándar, por ejemplo, en una carcasa común, muestra dos circuitos de carga. En este caso, el módulo de pilas de combustible se conecta por el lado de entrada a dos conductos de gas de reacción y muestra por el lado de salida dos tuberías de purga para los gases residuales. No se requieren otras conexiones de gas.

En esta primera variante, está previsto convenientemente un primer dispositivo de mando, que se crea de manera que, al alcanzar el valor límite de regulación inferior del regulador de tensión, se abra una válvula de purga para el

ES 2 285 296 T3

purgado del módulo de purga. El valor límite de regulación inferior puede ser un valor límite de tensión o también un valor límite de corriente. La válvula de purga se abre durante un periodo de tiempo definido y vuelve a cerrarse a continuación. Gracias a esta medida, se purgan los gases inertes del módulo secundario diseñado como módulo de purga.

Según un acondicionamiento ventajoso, una primera tubería de gas se conecta a un primer módulo de purga para suministrar un primer gas de reacción residual desde el módulo principal, por ejemplo, oxígeno. Además, el primer módulo de purga se conecta simultáneamente a un conducto de gas de reacción para suministrar un segundo gas de reacción, por ejemplo, hidrógeno, como gas fresco. Gracias a esta medida, se suministra al módulo de purga sólo un tipo de gas como gas residual desde el módulo principal. Al mismo tiempo, se suministra el segundo gas de reacción como gas fresco al módulo de purga. De este modo, puede conseguirse una reacción especialmente efectiva de las proporciones reactivas en el gas residual.

Preferiblemente también está prevista una segunda tubería de gas con un segundo módulo de purga para suministrar un segundo gas de reacción residual (hidrógeno) desde el módulo principal. El segundo módulo de purga se conecta simultáneamente a un primer conducto de gas de reacción para suministrar el primer gas de reacción (oxígeno) como gas fresco.

Este tipo de estructura con dos módulos de purga, que se cargan sólo con uno de los dos tipos de gases de reacción como gas residual y con el otro como gas fresco, es especialmente apropiado para el funcionamiento a contracorriente del módulo de pilas de combustible. Durante este funcionamiento a contracorriente, los dos gases de reacción se suministran a los módulos parciales individuales a contracorriente.

Además, está prevista convenientemente la asignación de una primera o segunda válvula de purga para la purga en caso necesario del primer o segundo gas residual a los dos módulos por el lado de la salida.

Preferiblemente el primer módulo de purga se conecta por el lado de salida a un conducto de unión para el segundo gas de reacción y, por el lado de entrada al segundo módulo de purga para suministrar el segundo gas de reacción y al contrario. Esto significa que el gas de reacción fresco suministrado al módulo de purga correspondiente se transporta por el lado de entrada al otro módulo de purga después de pasar por el respectivo módulo de purga. De esta forma, se garantiza también el traslado efectivo de este gas de reacción fresco primero al módulo de purga correspondiente.

Según una segunda variante del concepto con la conexión eléctrica por separado del módulo secundario, el sistema de pilas de combustible se crea en un acondicionamiento ventajoso, de manera que el último módulo parcial del módulo principal en el sentido de flujo del gas de reacción se diseña como un apilamiento de pilas de purga o también como una pila de purga individual. El módulo principal forma también un módulo de pilas de combustible convencional, en el que se disponen varios módulos parciales en cascada y se conectan eléctricamente de manera alineada y por el lado de gas. La última pila por el lado de gas o el último apilamiento de pilas forman las pilas de purga. En esta segunda variante, el módulo secundario forma un componente independiente, que se diseña como un bloque de pilas de combustible de gas residual, que a continuación se denomina, de forma abreviada, bloque de gas residual o módulo de gas residual. Por tanto, en esta segunda variante, se conecta posteriormente el bloque de gas residual independiente al módulo principal diseñado a modo de módulo de pilas de combustible convencional. Si se pone en funcionamiento el módulo principal, por ejemplo, en un servicio a contracorriente, y dispone de dos apilamientos de pilas de purga, el gas de reacción residual se suministra al bloque de gas residual desde dos pilas de purga. A través del bloque de gas residual conectado posteriormente, los componentes reactivos del gas residual purgado desde el módulo principal se utilizan adicionalmente para la transformación en energía eléctrica.

En esta segunda variante, está previsto convenientemente un segundo dispositivo de mando, que se crea de manera que, al alcanzar un valor límite de tensión inferior del apilamiento de pilas de purga, se abra una válvula de purga para el purgado del apilamiento de pilas de purga. Gracias a esta medida, el gas de reacción residual purgado desde el apilamiento de pilas de purga se suministra al bloque de gas residual a través de la tubería de gas. El purgado se realiza, en la segunda variante, en función de los valores eléctricos del apilamiento de pilas de purga del módulo principal para garantizar un funcionamiento efectivo de dicho módulo principal.

Convenientemente está previsto que la válvula de purga se disponga por el lado de salida en el bloque de gas residual, es decir, en el sentido de flujo hacia éste. Así se purga simultáneamente el bloque de gas residual al abrir la válvula de purga.

Según un desarrollo ventajoso, el módulo principal muestra, de manera similar a la primera variante, dos apilamientos de pilas de purga para el purgado del gas residual, donde cada uno de los apilamientos de pilas de combustible está previsto para el purgado de uno de los dos gases residuales. En este caso, un segundo dispositivo de mando controla cada uno de los dos apilamientos de pilas de purga. Al alcanzar un valor límite de tensión inferior, se abre la válvula de purga asignada al apilamiento de pilas de purga correspondiente. En una variante de modelo, está previsto que, cuando se abra una válvula de purga, se abra simultáneamente la otra válvula de purga, de modo que el gas de reacción residual se suministre al bloque de gas residual desde dos apilamientos de pilas de combustible. Especialmente al abrir independientemente las válvulas de purga, es decir, cuando sólo se suministre uno de los gases de reacción al bloque de gas residual como gas de reacción residual, el otro gas de reacción se transporta al bloque de gas residual como gas fresco.

ES 2 285 296 T3

Para el suministro de gas fresco de al menos un gas de reacción, el bloque de gas residual se conecta por el lado de salida a un conducto de gas de reacción según un desarrollo preferible. Mediante un tercer dispositivo de mando, también se abre una válvula de gas de reacción para el suministro del bloque de gas residual con gas de reacción fresco al alcanzar un valor límite de tensión inferior del bloque de gas residual. Gracias a esta medida, se suministra gas reactivo suficiente al bloque de gas residual, de modo que el bloque quede protegido en su totalidad contra una bajada de tensión o una desconexión.

Convenientemente el tercer dispositivo de mando también se crea para que, al no alcanzar un valor de referencia de tensión, se suministre un gas de reacción fresco, de manera que queden gases de reacción en el bloque de gas residual en una cantidad estequiométrica. El valor de referencia de tensión es aproximadamente el valor de tensión máximo que suele alcanzarse y que sólo puede obtenerse en una cantidad estequiométrica. Mediante el tercer dispositivo de mando, el suministro de gas se mezcla en proporciones estequiométricas. En esto, puede suministrarse gas fresco tanto por el lado de hidrógeno, como por el lado de oxígeno.

En un acondicionamiento preferible, el tercer dispositivo de mando también sirve, sobre todo, para el control de la válvula de gas de reacción. Para ello se controla el curso de la tensión y de la corriente del bloque de gas residual. El aumento continuo tanto de la tensión, como de la corriente son un indicio de que la válvula de gas de reacción, especialmente aquella para el suministro de hidrógeno, está abierta y de que se suministra hidrógeno de manera constante. Gracias a esta medida, se controla la capacidad de funcionamiento de la válvula de reacción y se prescinde convenientemente de otro dispositivo de control.

La función se soluciona según la invención gracias a un procedimiento con las características de la reivindicación 20. Los acondicionamientos preferibles descritos para el sistema de pilas de combustible y las ventajas relacionadas deben aplicarse también en el procedimiento de la manera adecuada.

A continuación, se explican los ejemplos de modelo de la invención mediante las ilustraciones. Éstas muestran esquemas de las siguientes figuras:

Fig 1 un diagrama de bloques de un sistema de pilas de combustible según una primera variante,

Fig 2 un diagrama de bloques de un sistema de pilas de combustible según una segunda variante, y

Fig 3 una curva característica de corriente y tensión de una pila de combustible PEM.

En las figuras, se utilizan los mismos caracteres de referencia para las mismas piezas o piezas equivalentes. El índice H hace referencia al lado de hidrógenos y el índice O, al lado de oxígeno.

El sistema de pilas de combustible 2A según la Fig 1 muestra un módulo principal 4A y dos módulos secundarios diseñados como módulos de purga 6_{H,O}. El módulo principal 4A muestra también varios módulos parciales 8_{H,O}, que están dispuestos según el principio del sistema de cascada. El sistema de pilas de combustible 2 se alimenta con gases de reacción a través de una primera válvula de gas de reacción 10_H para hidrógeno y una segunda válvula de gas de reacción 10_O para oxígeno a través de un conducto de gas de reacción correspondiente 12_{H,O}.

Cada módulo se forma a partir de una apilamiento de pilas de combustible PEM. Los módulos de pilas de purga 6_{H,O} también pueden formarse mediante una sola pila de combustible. Todas las pilas de combustible, así como los módulos individuales se dividen en dos cámaras de gas de reacción; por un lado, para el oxígeno y, por otro lado, para el hidrógeno. Esto se representa con líneas continuas en las ilustraciones.

El sistema de pilas de combustible 2A admite gases de reacción en el principio de contracorriente. Los módulos parciales individuales 8_{H,O} del sistema de pilas combustible 2A se numeran correlativamente con 10₂..40₂ y 1H₂..4H₂ según el orden. Los módulos parciales individuales 8_{H,O} se colocan por el lado de gas de manera alineada entre sí. Al primer módulo parcial 8_{H,O} se suministra respectivamente gas de reacción en exceso y, a continuación, el resto de gas de reacción residual en exceso, al siguiente módulo parcial 8_{H,O} por el lado de entrada. De la misma manera, también se colocan los módulos de purga 6_{H,O} por el lado de gas, de manera alineada al módulo principal 4A. El último módulo parcial 8_{H,O} del módulo principal 4A está unido, por tanto, al módulo de purga correspondiente 6_{H,O} a través de una tubería de gas 14_{H,O}. Entre el módulo de purga 6_{H,O} y el módulo principal 4A, así como entre los módulos parciales individuales 8, se dispone un separador de agua 16_{H,O}, a través del cual se conduce el gas de reacción residual correspondiente y se libera de agua, de modo que se suministre con la menor cantidad de agua posible al siguiente módulo parcial 8_{H,O} o al módulo de purga 6_{H,O}.

A través de una válvula de salida controlable 17_{H,O}, el nivel de agua del separador de agua 16_{H,O} se ajusta a un margen de nivel específico. Para ello está previsto un medidor de nivel 19_{H,O}.

Debido al principio de contracorriente, cada uno de los dos módulos de purga 6_{H,O} admite sólo un gas de reacción residual. El segundo gas de reacción se suministra como gas fresco a través del conducto de gas de reacción 12_{H,O}. Con el índice 0 se señala el módulo de purga 6, al que se suministra el oxígeno residual como gas de reacción residual. El gas de reacción fresco suministrado al módulo de purga 6_{H,O} correspondiente se suministra al otro módulo de purga

ES 2 285 296 T3

6_{H₂O} correspondiente a través de una tubería de gas fresco residual 18_{H₂O}. Así el módulo de purga 6, está conectado por el lado de salida de hidrógeno al otro módulo de purga 6_H por el lado de entrada de hidrógeno a través de la tubería de gas fresco residual 18_H para el gas residual del hidrógeno, esto es, la tubería de gas fresco residual 18_H está conectada paralelamente al módulo principal 4A por el lado de salida del hidrógeno. En la estructura en cascada de la figura 1, la tubería de gas fresco residual 18_H también puede conectarse al primer módulo parcial 8_H por el lado de salida. Cada uno de los dos módulos de purga 6_{H₂O} está también conectado por el lado de salida a una válvula de purga 22_{H₂O} exactamente a través de una tubería de purga 20_{H₂O}. Mediante la apertura de la válvula de purga 22_{H₂O}, puede purgarse la cámara de gas de reacción, a la que se suministró un gas de reacción residual desde el módulo principal 4A.

Respecto al lado eléctrico del sistema de pilas de combustible 2A, al módulo principal 4A se asigna un circuito de corriente de carga principal 30A y a los dos módulos de purga 6_{H₂O}, un circuito de corriente de carga secundario 32A respectivamente. El circuito de corriente de carga secundario 32A muestra una carga electrónica regulable 34_{H₂O} diseñada como un convertidor CC-CC en el ejemplo de modelo. Además se asigna un regulador de tensión 36_{H₂O} a cada uno de los módulos de purga 6_{H₂O} y un primer dispositivo de mando 38_{H₂O}, a la carga electrónica 34_{H₂O}. El regulador de tensión 36_{H₂O} mide la tensión del módulo de purga 6_{H₂O} y actúa en la carga electrónica 34_{H₂O}, de modo que la tensión del módulo de purga 6_{H₂O} se ajusta por un valor constante. El dispositivo de mando 38_{H₂O} mide la corriente de las pilas del módulo de purga 6_{H₂O}, y controla y abre la válvula de purga 22_{H₂O} a través de una línea piloto 40 al alcanzar un valor límite de corriente inferior.

El aspecto fundamental del sistema de pilas de combustible 2A consiste en que el módulo principal 4A y los módulos de purga 6_{H₂O} se conectan por el lado de gas de manera alineada, pero eléctricamente de manera independiente entre sí. Gracias a esta medida, puede conseguirse una densidad de corriente considerablemente inferior a la del módulo principal 4A mediante la regulación prevista en el circuito de corriente de carga secundaria 32. De este modo, puede utilizarse eficazmente el gas de reacción residual suministrado a los módulos de purga 6_{H₂O}. La proporción del gas reactivo eliminado a través de las válvulas de purga 22_{H₂O} es muy baja gracias a esta medida.

En el funcionamiento del sistema de pilas de combustible, los gases inertes se enriquecen en los módulos de purga 6_{H₂O}, de modo que disminuye la potencia del módulo de purga 6_{H₂O}. La Fig 3 muestra un esquema de la curva característica de tensión y corriente de una pila de combustible PEM; donde la línea continua en negrita representa el caso con un gas de reacción puro y las dos líneas discontinuas, el caso en el que el gas de reacción está provisto de distintas proporciones elevadas de gas inerte. La línea discontinua inferior representa una proporción de gas inerte mayor que la línea discontinua superior.

El sistema de pilas de combustible funciona ajustando la tensión del módulo de purga 6_{H₂O} a un valor de referencia de tensión definido, que, por ejemplo, corresponde a 0,7 voltios en el ejemplo de modelo de la Fig 3. Mediante el regulador de tensión 36_{H₂O} y la línea piloto 40, se reduce de manera continua la corriente ajustando la carga electrónica 34_{H₂O} cuando aumenta el enriquecimiento de gases inertes, hasta que se alcanza un margen de regulación inferior, esto es, hasta que ya no pueda mantenerse el valor de referencia de tensión. Si no se alcanza este margen de regulación inferior, la válvula de purga 22_{H₂O} del módulo de purga correspondiente 6_{H₂O} se abre y, como consecuencia, se purgan los gases inertes y el agua.

Además de no alcanzar el valor de referencia de tensión, también puede utilizarse el defecto de un valor de referencia de corriente para abrir la válvula de purga 22_{H₂O}. Esto se muestra en el esquema de la Fig 3 con la línea vertical del lado izquierdo. Esta energía se toma de la carga eléctrica 34_{H₂O} en forma de convertidor CC-CC.

En una segunda variante de modelo de un sistema de pilas de combustible 2B según la figura 2, el módulo principal 4B se crea como un bloque de pilas de combustible convencional con dos apilamientos de pilas de purga 42_{H₂O} en los extremos de los lados. En este caso, se asigna un circuito de corriente de carga principal 30B en total al módulo principal 4B. Por el contrario, el módulo principal 4B está estructurado según el principio del sistema de cascada, como se explicó para la Fig 1. El módulo principal 4B también se admite según el principio de contracorriente, de modo que se dispongan dos apilamientos de pilas de combustible 42_{H₂O} opuestas entre sí, que se carguen respectivamente con un gas de reacción residual. Asimismo, a este módulo principal 4B en forma de componente independiente se incorpora posteriormente un bloque de gas residual 44 también en forma de componente independiente, al cual se asigna un circuito de corriente de carga secundario 32 propio. El gas de reacción residual del módulo principal 4B se suministra por el lado de entrada al bloque de gas residual 44. Por el lado de salida del bloque de gas residual 44, está prevista una válvula de purga 22_{H₂O} para cada una de las dos cámaras de gas.

Se asigna un medidor de tensión como segundo dispositivo de mando 46_{H₂O} a todos los apilamientos de pilas de combustible 42_{H₂O}, el cual actúa en la respectiva válvula de purga 22_{H₂O} a través de una línea piloto 40. Además, está previsto un tercer dispositivo de mando 48 con un regulador de tensión, mediante el cual se regula la tensión del bloque de gas residual 44 de forma similar a la tensión de los módulos de purga 6_{H₂O} en la primera variante de modelo. Aquí la corriente de carga se control mediante un convertidor CC-CC 50.

A través de una línea secundaria eléctrica 52, un consumidor 54 del sistema de pilas de combustible 2B se alimenta de la energía que proporciona el bloque de gas residual 44. El consumidor 54 recibe normalmente la alimentación de energía del circuito de corriente de carga principal 30B. Por tanto, mediante la alimentación de energía adicional procedente del bloque de gas residual 44, se reduce por necesidad propia la energía derivada del circuito de corriente de carga principal 30B proporcionando así mayor cantidad al consumidor externo. De este modo, aumenta el grado

ES 2 285 296 T3

de rendimiento. El principio que se describe aquí respecto al uso de la energía generada por el bloque de gas residual 44 puede aplicarse también a la variante de modelo de la Fig 1 para la energía eléctrica generada por los módulos de purga 6_{H_2O} .

5 En el ejemplo de modelo de la Fig 2, el módulo principal 4B y el bloque de gas residual 44 se conectan paralelamente a un suministro común de agua de refrigeración 56. Como alternativa, el bloque de gas residual 44 también puede refrigerarse fácilmente mediante la convección. De la misma forma, se refrigera también el sistema de pilas de combustible 2A según la variante de modelo de la Fig 1.

10 En el funcionamiento del sistema de pilas de combustible 2B, la tensión se controla en el apilamiento de pilas de combustible 42_{H_2O} correspondiente mediante el segundo dispositivo de mando 46_{H_2O} . Al no alcanzarse un valor límite de tensión definido, la válvula de purga 22_{H_2O} asignada se abre, de modo que se suministra un gas de reacción residual al bloque de gas residual 44 desde el apilamiento de pilas de combustible 42_{H_2O} correspondiente. En este caso, la
15 válvula de purga 22_{H_2O} sólo se abre durante un periodo de tiempo definido. Cuando se abre la válvula de purga 22_{H_2O} , se purga al mismo tiempo el agua enriquecida en el bloque de gas residual 44, así como los gases inertes enriquecidos.

Siempre que se alcance el margen de regulación inferior del regulador de tensión 48 y ya no pueda conseguirse adecuadamente una tensión de referencia definida, se calificará como un indicio de que ya no está disponible suficiente gas reactivo para el bloque de gas residual 44. En este caso, se suministra gas de reacción fresco (por ejemplo, hidrógeno) al bloque de gas residual 44 a través de un conducto de gas de reacción 12_H . Para ello está previsto un tipo de bypass hacia el conducto de reacción 12_H para el módulo principal 4B, en el que está colocada otra válvula de gas residual 58_H . Por tanto, la válvula se abre si no se alcanza el valor límite de tensión inferior, de modo que se suministra gas de reacción fresco al bloque de gas residual 44. Para impedir una recirculación al módulo principal 4B, también está prevista una válvula de cierre 60 en la tubería de gas 14_H , que une el módulo principal 4B por el lado
25 de salida al bloque de gas residual 44. El ejemplo de modelo de la Fig 2 representa el suministro de gas fresco en el lado de hidrógeno. También es posible en el lado de oxígeno. Gracias a esta medida, el bloque de gas residual queda protegido contra una bajada de tensión y una desconexión. El bloque de gas residual 44 funciona preferiblemente de manera permanente.

30 Mediante el tercer dispositivo de mando 48, se controla además si la tensión del bloque de gas residual 44 alcanza un valor de referencia de tensión superior definida. Este valor de referencia de tensión superior corresponde especialmente al valor de tensión que se ajusta cuando el bloque de gas residual 44 se abastece, al menos aproximadamente, con una cantidad estequiométrica de gas de reacción según las ecuaciones de reacción. Si no se alcanza el valor de referencia de tensión superior, el tercer dispositivo de mando 48 abre la otra válvula de gas de reacción 58_H hasta que
35 vuelva a alcanzarse el valor de referencia de tensión. Mediante el control del curso de la tensión después de la apertura, por ejemplo, de la válvula de gas de reacción de hidrógeno 58_H , se determina el gas de reacción que debe suministrarse adicionalmente. La tensión también se controla mediante la apertura y cierre de la válvula de gas de reacción 58_H .

Además de la tensión, se mide y controla también la corriente mediante el tercer dispositivo de mando 48. Si fluye la corriente y la tensión aumenta en el bloque de gas residual 44 de manera continua, será un indicio de que el bloque de gas residual 44 también se alimenta con gas de reacción, sobre todo, hidrógeno. Esto indica, por ejemplo, que la otra
40 válvula de gas de reacción 48_H tiene algún defecto. Mediante el tercer dispositivo de mando 48, se controla también la capacidad de funcionamiento de la otra válvula de gas de reacción 58_H y, en caso de algún error, se activa una señal de alarma. También, por ejemplo, puede activarse un bloqueo automático de la primera válvula de gas de reacción 10_H .

45 El tercer dispositivo de mando 48 se incorpora en un aparato junto con el segundo dispositivo de mando 46_{H_2O} . Para llevar a cabo las funciones de control y regulación descritas, los dispositivos de mando 46_{H_2O} , 48 muestran, además del medidor de tensión o el regulador de tensión, una unidad de evaluación y una unidad de control adecuadas. Lo mismo vale para el primer dispositivo de mando 38_{H_2O} y el regulador de tensión 38_{H_2O} según la primera variante.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de pilas de combustible (2A, B) con un módulo principal de pilas de combustible (4A, B), que se conecta a un circuito de corriente de carga principal (30A, B), y con un módulo secundario de pilas de combustible (6_{H,O}, 44), que se conecta a un circuito de corriente de carga secundario (32A, B), donde el módulo principal (4A, B) y el módulo secundario (6_{H,O}, 44) se conectan eléctricamente de una forma independiente entre sí, y donde está prevista una tubería de gas (14_{H,O}) para un gas de reacción residual, que une el módulo principal (4A, B) por el lado de salida con el módulo secundario (6_{H,O}, 44) por el lado de entrada.
2. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según la reivindicación 1, en el que el módulo principal (4A, B) comprende varios módulos parciales (8_{H,O}) dispuestos en cascada.
3. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según la reivindicación 1 ó 2, en el que está previsto un regulador de tensión (36_{H,O}; 48), que regula la tensión del módulo de pilas secundario (6_{H,O}; 42_{H,O}) en el circuito de carga secundario (32A, B).
4. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según la reivindicación 3, en el que se coloca una carga electrónica (34_{H,O}) en el circuito de corriente de carga secundario (32A, B), que puede ajustarse mediante el regulador de tensión (36_{H,O}; 48).
5. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según una de las reivindicaciones anteriores, que se crea de manera que la energía eléctrica, de la que se dispone a través del módulo de pilas secundario (6_{H,O}; 44), se utilice para alimentar el sistema de pilas de combustible (2A, B).
6. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que un separador de agua (16_{H,O}) para el gas de reacción residual está previsto entre el módulo principal (4A, B) y el módulo secundario (6_{H,O}; 44).
7. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el módulo principal (4A) junto con el módulo secundario (6_{H,O}) forma un módulo de pilas de combustible y el módulo secundario se crea como un módulo de purga (6_{H,O}) del módulo de pilas de combustible.
8. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según la reivindicación 7, en el que está previsto un primer dispositivo de mando (38_{H,O}), que se crea de manera que, al alcanzar un valor límite de regulación inferior del regulador de tensión (36_{H,O}), se abra una válvula de purga (22_{H,O}) para el purgado del módulo de purga (6_{H,O}).
9. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según la reivindicación 7 u 8, en el que una primera tubería de gas (14_O) se conecta a un primer módulo de purga (6_O) para suministrar un primer gas de reacción residual desde el módulo principal (4A), donde además el primer módulo principal (6_O) se conecta a un conducto de gas de reacción (12_H) para suministrar un segundo gas de reacción como gas fresco.
10. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según la reivindicación 9, en el que una segunda tubería de gas (14_H) se conecta a un segundo módulo de purga (6_H) para suministrar un segundo gas de reacción residual desde el módulo principal (4A), donde además el segundo módulo principal (6_H) se conecta a un primer conducto de gas de reacción (12_O) para suministrar un primer gas de reacción como gas fresco.
11. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según la reivindicación 9 y 10, en el que el primer módulo de purga (6_O) se conecta por el lado de salida a un segundo módulo de purga (6_H) por el lado de entrada a través de una tubería de gas fresco residual (18_H) para el segundo gas de reacción suministrado al primer módulo de purga (6_O).
12. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según la reivindicación 9, 10 u 11, en el que se asigna sólo una primera o segunda válvula de purga (22_{O,H}) respectivamente al primer o segundo módulo de purga (6_{O,H}) para el purgado del primer o segundo gas de reacción residual en caso necesario.
13. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el último módulo parcial (8_{H,O}) del módulo principal (4B) en el sentido de flujo del gas de reacción se crea como un apilamiento de pilas de purga (42_{H,O}), y el módulo secundario se crea como un componente independiente en forma de bloque de gas residual (44).
14. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según la reivindicación 13, en el que está previsto un segundo dispositivo de mando (46_{H,O}) que se crea de manera que, al alcanzar un valor límite de tensión inferior del apilamiento de pilas de purga (42_{H,O}), se abra una válvula de purga (22_{H,O}) para el purgado del apilamiento de pilas de purga (42_{H,O}), de modo que el gas de reacción residual purgado se suministre al bloque de gas residual (44) a través de la tubería de gas (14_{H,O}).
15. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según la reivindicación 14, en el que la válvula de purga (22_{H,O}) se coloca por el lado de salida respecto al bloque de gas residual (44).

ES 2 285 296 T3

16. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según la reivindicación 15 ó 14, en el que el módulo principal (4B) muestra un primer apilamiento de pilas de purga (42_{O}) para el purgado de un primer gas de reacción residual, así como un segundo apilamiento de pilas de purga (42_{H}) para el purgado de un segundo gas de reacción residual y, para cada apilamiento de pilas de purga ($42_{\text{O,H}}$), está previsto un segundo dispositivo de mando ($46_{\text{O,H}}$) para el control de la tensión del apilamiento de pilas de purga ($42_{\text{O,H}}$) correspondiente, que se crea de manera que, al alcanzar el respectivo valor límite inferior, se abra la válvula de purga ($22_{\text{H,O}}$) asignada al apilamiento de pilas de purga ($42_{\text{H,O}}$) correspondiente.

17. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según una de las reivindicaciones 13 a 16, en el que el bloque de gas residual (44) se conecta por el lado de entrada a un conducto de gas de reacción (12_{H}) y está previsto un tercer dispositivo de mando (48), que se crea de manera que, al alcanzar un valor límite de tensión inferior del bloque de gas residual (44), se abra otra válvula de gas de reacción (58_{H}) para alimentar el bloque de gas residual (44) con gas de reacción fresco.

18. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según una de las reivindicaciones 13 a 17, en el que el bloque de gas residual (44) se conecta por el lado de entrada a un conducto de gas de reacción (12_{H}) y está previsto un tercer dispositivo de mando (48) que se crea de manera que, al no alcanzar un valor de referencia de tensión del bloque de gas residual (44), se abra la válvula de gas de reacción (58_{H}) para que los gases de reacción se transporten en una cantidad estequiométrica al bloque de gas residual (44).

19. Sistema de pilas de combustible (2A, B) según una de las reivindicaciones 13 a 18, en el que el bloque de gas residual (44) se conecta por el lado de entrada a un conducto de gas residual (12_{H}) y se crea un tercer dispositivo de mando (48) para el control del curso de la tensión y de la corriente del bloque de gas residual (44) de manera que se active una señal de alarma cuando el valor de la tensión y de la corriente sobrepasan un valor límite.

20. Procedimiento para poner en funcionamiento un sistema de pilas de combustible (2A, B), en el que se conecta un módulo principal de pilas de combustible (4A, B) a un circuito de corriente de carga principal (30A, B) y se conecta un módulo secundario de pilas de combustible ($6_{\text{H,O}}$; 44) a un circuito de corriente de carga secundario (32A, B), de modo que el módulo principal y el módulo secundario estén unidos eléctricamente de una forma independiente entre sí, donde un gas de reacción residual se suministra al módulo secundario ($6_{\text{H,O}}$, 44) desde el módulo principal (4A, B).

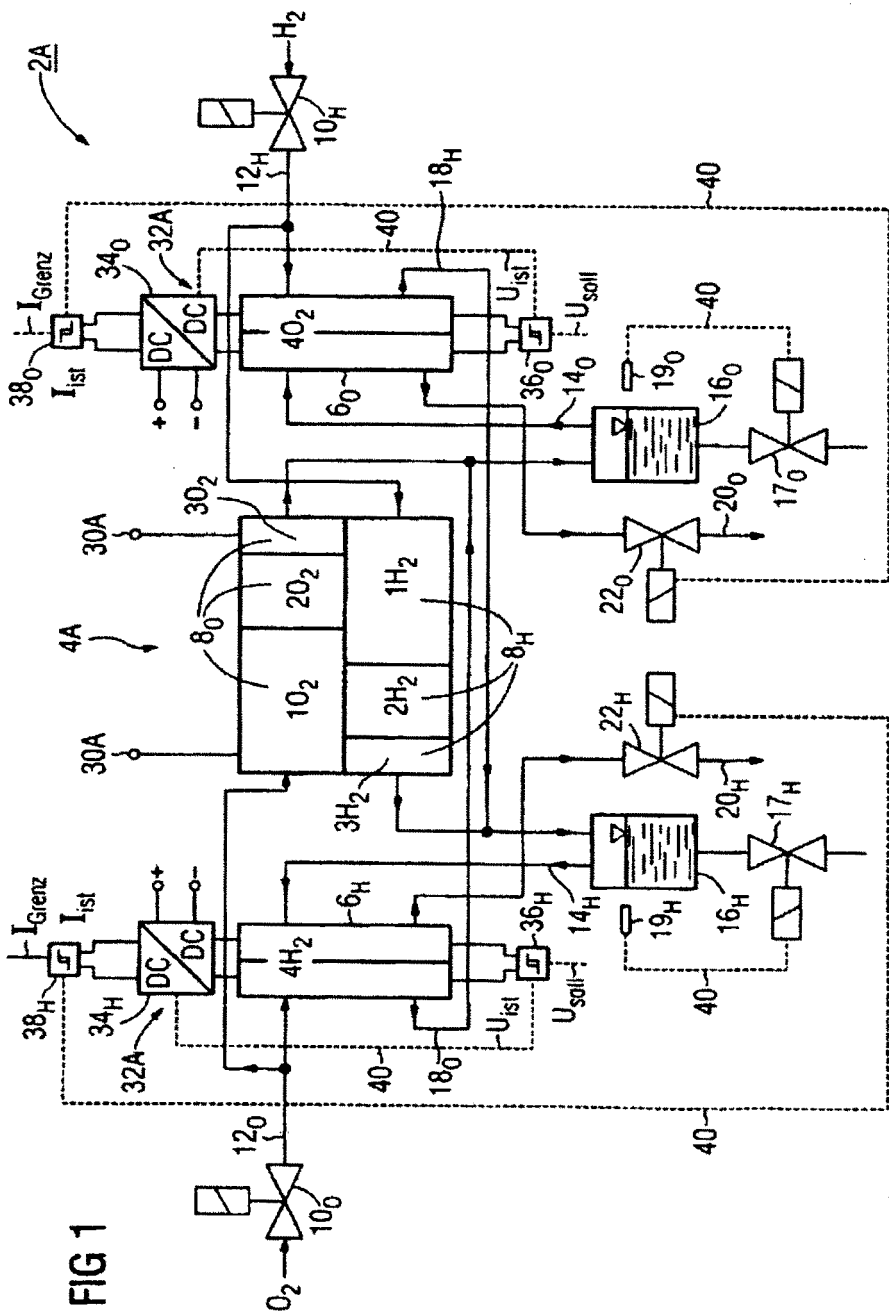


FIG 1

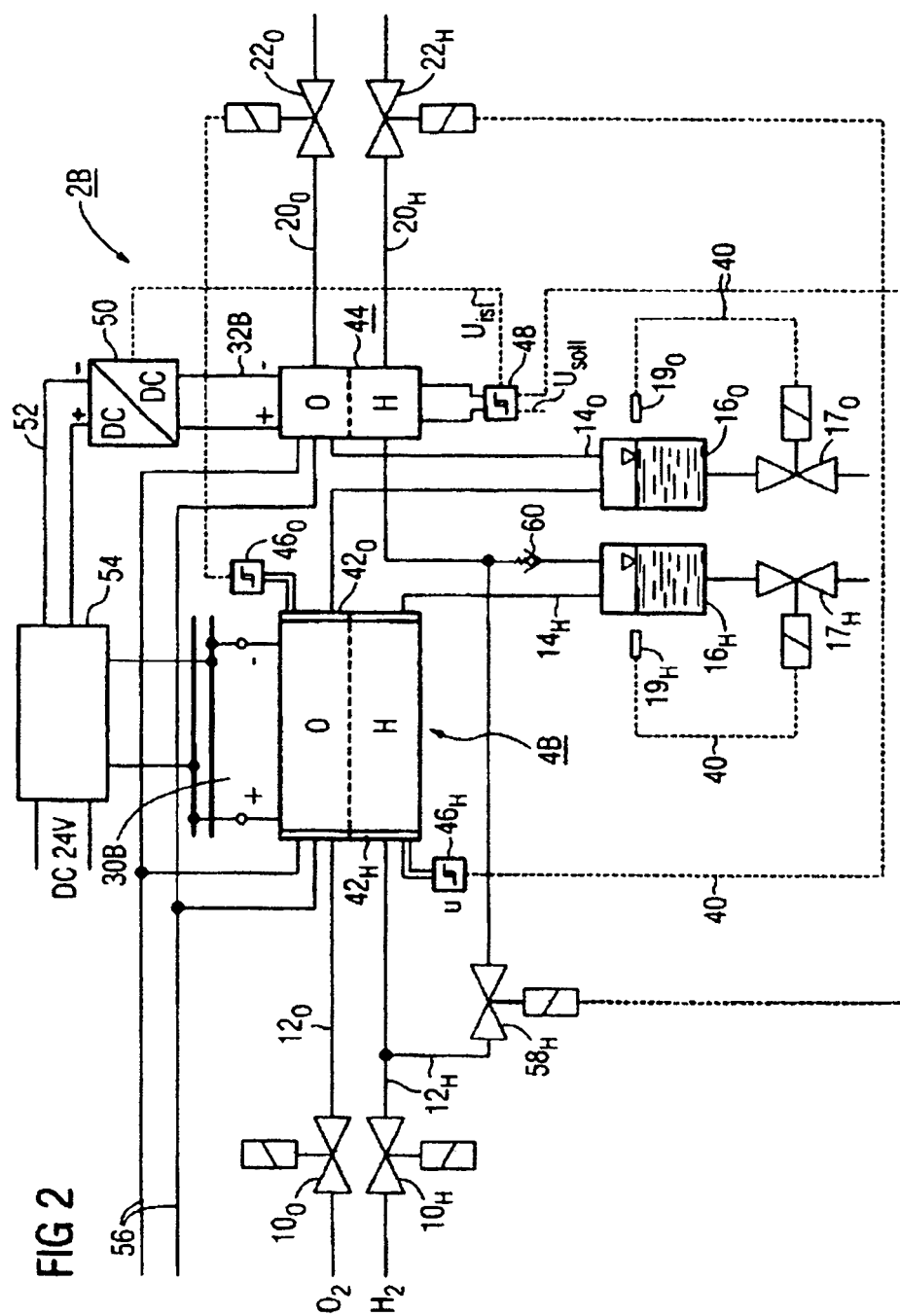


FIG 3

