(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 394 957**

(51) Int. CI.:

H01M 8/04 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.09.2008 E 08806379 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **14.07.2010 EP 2206185**

(54) Título: **Sistema de pila de combustible**

(30) Prioridad:

26.09.2007 GB 0718763

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.02.2013

(73) Titular/es:

INTELLIGENT ENERGY LIMITED (100.0%)
Charnwood Building, Holywell Park, Ashby Road
Loughborough Leicestershire LE11 3GB, GB

(72) Inventor/es:

KELLS, ASHLEY;
ADCOCK, PAUL;
HOOD, PETER DAVID y
BAIRD, SCOTT

(74) Agente/Representante:

URÍZAR ANASAGASTI, José Antonio

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 pila de combustible.

Campo de la Invención

[0001] La invención se refiere a la operación de, y aparato relativo a, un sistema de pila de combustible, y en particular aunque no exclusivamente a una estrategia para comenzar la operación de un sistema de pila de combustible.

Antecedentes

[0002] El agua es esencial para la operación de un sistema de pila de combustible, por ejemplo en la forma del sistema aquí descrito que comprende un apilamiento de pilas de combustible en base a una membrana de intercambio de protones (PEM). La reacción de los protones (iones hidrógeno) conducidos a través de la PEM desde una vía de flujo de ánodo, con oxígeno presente en una vía de flujo de cátodo, produce agua. El exceso de agua necesita ser extraído del apilamiento de pilas de combustible para evitar inundación y causar un consecuente deterioro del rendimiento. Un cantidad de agua, sin embargo, necesita estar presente en al menos la vía de flujo de cátodo para mantener la hidratación de la PEM, con el fin de alcanzar el rendimiento óptimo de la pila de combustible. Gestionar este agua, por inyección y extracción deliberadas, puede también proporcionar un mecanismo útil para eliminar el exceso de calor del apilamiento de pilas de combustible.

[0003] Para optimizar el rendimiento, el agua puede emplearse deliberadamente en tales sistemas de pilas de combustible mediante inyección en la vía de flujo de cátodo del apilamiento. Tales sistemas de pila de combustible de inyección de agua tienen ventajas potenciales de tamaño y complejidad reducidos, comparados con otros tipos de sistemas de pila de combustible que emplean canales de enfriamiento separados. El agua puede ser inyectada directamente en la vía de flujo de cátodo a través de colectores distribuidores de agua, como por ejemplo se describe en GB2409763.

[0004] Para sistemas de inyección de agua, es importante que cualquier agua retroalimentada a la vía de flujo de cátodo sea de alta pureza, con el fin de evitar contaminación de la PEM y consecuente degradación del rendimiento del apilamiento. Este requisito de alta pureza, sin embargo, significa que no pueden utilizarse aditivos para reducir el punto de congelación del agua. Para aplicaciones automotrices en particular, los requisitos normales incluyen arrancar a partir de debajo de la congelación, típicamente tan bajo como -20ºC para simular entornos en que la pila de combustible puede usarse en la práctica. Puesto que el agua de alta pureza tiene un punto de congelación de 0°C (a 1 bar de presión), cualquier agua que quede en el sistema de pila de combustible se congelará, con tiempo suficiente, tras apagar la pila de combustible.

[0005] El hielo en el sistema de pila de combustible, y en particular dentro de la vía de flujo de cátodo, puede impedir que el apilamiento funcione apropiadamente, o incluso hacer que no funcione. Si cualquier parte de la vía de flujo de cátodo está bloqueada con hielo, no puede hacerse pasar aire a través del cátodo y la pila de combustible puede no ser capaz de autocalentarse por encima del punto de congelación. Otros métodos para calentar todo el apilamiento serán entonces necesarios, que requerirán consumo de energía externa antes de que la pila de combustible pueda empezar a suministrar energía eléctrica y calentarse por si misma.

[0006] Es un objeto de la invención tratar uno o más de los problemas antes mencionados.

[0007] GB 2409763 revela una pila electroquímica de combustible en la que se suministra agua líquida a canales de flujo de fluído en el cátodo para mantener una humedad relativa del 100%, y un método de calibración para determinar el suministro óptimo de agua líquida bajo condiciones variables.

[0008] US 2005/0112430 revela una distribución en una planta de energía de pilas de combustible para dispensar agua en una corriente de aire que fluye por un canal de gas en un dispositivo de recuperación de energía, siendo inyectada el agua en una cantidad controlada en respuesta a parámetros detectados de la planta de energía incluyendo la corriente de aire de proceso, y proporcionar una capacidad de descongelación al dispositivo de recuperación de enegía.

[0009] JP 2006100095 revela una pila de combustible provista de un apilamiento laminado de pilas de combustible en que, durante el arranque por debajo del punto de congelación, se calcula la desviación estándar de tensións de pila a un valor prescrito de intensidad y un límite superior de intensidad se hace fluir hasta que un valor de la desviación estándar esté por debajo de un valor umbral.

[0010] US 2004/0170038 revela un sistema de pila de combustible en el que se detecta un tensión de bateria y se reduce un valor de instrucción de intensidad a la caída de la tensión de la batería, el valor de intrucción de intensidad restringido con el fin de que se comience a a reducir la intensidad de la batería a un primer valor umbral y se haga cero a un segundo valor umbral.

Resumen

[0011] Según la invención se proporciona un sistema de pila de combustible y un método para optimizar la operación de

un sistema de pila de combustible, como se define por las Reivindicaciones anexas.

Breve Descripcion de los Dibujos

[0012] La invención será ahora descrita a modo de ejemplo solamente, con referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

la Figura 1 ilustra un diagrama esquemático de la disposición de diversos componentes dentro de un sistema total de pila de combustible;

la Figura 2 ilustra un diagrama esquemático de un sistema de control eléctrico ejemplo para un sistema de pila de combustible;

la Figura 3 ilustra una vista lateral esquemática de un apilamieno de pila de combustible de ejemplo;

las Figuras 4a y 4b ilustran vistas en perspectiva de una placa calefactora de ejemplo para un apilamiento de pila de combustible;

la Figura 5 ilustra una vista parcial en sección esquemática de un apilamiento de pilas de combustible de ejemplo;

la Figura 6 illustra un diagrama de flujo esquemático de un procedimiento de arranque de ejemplo; y

la Figura 7 ilustra una serie de curvas mostrando varios parámetros medidos de un sistema de pila de combustible.

Descripción detallada

[0013] La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de un sistema ejemplo de pila de combustible 100 que comprende un apilamiento de pila de combustible 110 y otros componentes asociados. El apilamiento de pila de combustible 110 tiene una vía de flujo de cátodo pasando a través de él, la vía de flujo de cátodo comprendiendo una entrada de aire 124 que lleva a una línea de entrada de aire 123 y adentro del apilamiento en la entrada de aire del cátodo 126. Tras atravesar un volumen interno del cátodo (no mostrado) dentro del apilamiento de pila de combustible 110, la vía de flujo de cátodo sale del apilamiento de pila de combustible 110 en la línea de salida del cátodo 121, por la línea de escape de cátodo 122 y una válvula de cierre de escape 120. Durante la operación normal, la válvula de cierre de escape 120 está parcial o completamente abierta. Diversos componentes tales como un intercambiador de calor 130, con ventilador de refrigeración asociado 139, y un separador de agua 131 pueden estar conectados a o parte de la línea de salida del cátodo 121 y línea de escape 122 en la vía de flujo de cátodo. Pueden también estar presentes sensores de temperatura Tax1, TX2, TX3, TX5 y sensores de presión PX2, PX3, conectados en lugares apropiados para controlar la línea de entrada 123 y la línea de salida 121 de la vía de flujo de cátodo.

[0014] La expresión “sistema del cátodo” en el presente contexto tiene por objeto abarcar aquellas partes del sistema de pila de combustible 100 que están asociadas con el volumen del cátodo dentro del apilamiento de pila de combustible. Estas incluyen los diversos componentes internos de la pila de combustible como las entradas, salidas, las estructuras de vía de flujo interna y de distribución de agua, así como componentes en comunicación fluída con el volumen del cátodo tal como las diversas líneas de entrada, salida, recirculación y escape para tanto líquidos como gases. El término “vía de flujo de cátodo” tiene como objeto abarcar un subconjunto del sistema del cátodo que incluye una vía de flujo de fluído desde la entrada de aire 124 a través de un compresor de aire 133, la línea de entrada 123, el volumen de cátodo del apilamiento de pila de combustible 110, y la línea de salida de cátodo 121. Los términos “sistema de ánodo” y “vía de flujo de ánodo” deben interpretarse de forma similar, con referencia a los diversos componentes del sistema de pila de combustible 100 asociados con el volumen de ánodo.

[0015] El compresor de aire 133, conectado a la línea de entrada de aire del cátodo 123, proporciona aire comprimido a la vía de flujo de cátodo. Otros componentes tales como un intercambiador de calor de línea de aire 134, un medidor de flujo 135, uno o más filtros de aire 136, 137 y un calentador de aire 138 pueden estar presentes en la línea de entrada de cátodo 123 entre la entrada de aire 124 y el apilamiento de pila de combustible 110. El intercambiador de calor de la entrada de aire 134 puede usarse junto con una línea de refrigerante 141, una válvula de tres vías 142 y un sensor de temperatura TX7 para precalentar aire del compresor de aire 133 con refrigerante de la línea refrigerante 141 durante la operación del sistema de pila de combustible 100. La línea de refrigerante 141 atravesando el intercambiador de calor de la entrada de aire 134 forma un circuito de enfriamiento separado configurado para extraer calor de la corriente de aire después del compresor 133. Esta línea de refrigerante 141 es preferiblemente operada después de que el apilamiento de pila de combustible 110 alcanza una temperatura normal de funcionamiento, con el fin de evitar extraer calor de la corriente de entrada de aire 123 durante el arranque del sistema 100. La desviación de refrigerante en la línea 141 puede ser lograda mediante el uso de la válvula 142, permitiendo el control sobre si el refrigerante es suministrado al intercambiado de calor 134. Puesto que la línea de refrigerante 141 está separada del agua alimentada al sistema de cátodo, el requisito de agua de alta pureza no es el mismo. El refrigerante utilizado en la línea refrigerante 141 puede por tanto comprender aditivos tales como glicol para reducir el punto de congelación del refrigerante utilizado.

[0016] Combustible, normalmente en forma de hidrógeno gaseoso, entra en el sistema de pila de combustible por una

válvula reductora de presión 151 y una válvula de accionamiento 152, preferiblemente en forma de una válvula accionada por solenoide normalmente cerrada. El suministro de combustible 150, cuando es en forma de gas hidrógeno, se localiza normalmente alejado del sistema de pila de combustible, por ejemplo en forma de un tanque presurizado hacia la parte trasera de un vehículo. Una válvula accionada por solenoide adicional 153 y una válvula reductora de presión 164 pueden proveerse más cercanas al apilamiento de pila de combustible 110 en la línea de entrada de combustible 155 de la vía de flujo de ánodo entre la fuente de combustible 150 y la entrada de ánodo 156 del apilamiento de pila de combustible 110. Dos juegos diferentes de válvulas son por tanto provistos llevando a la entrada de ánodo 156, un juego 151, 152 cercano al tanque y el otro juego 153, 154 más cercano al apilamiento de pila de combustible 110, con una línea de combustible presurizada intermedia 119 en medio. La válvula reductora de presión 154 regula la presión del gas de combustible seco a un nivel adecuado para la introducción al apilamiento de pila de combustible 110. La válvula reductora de presión 154 es preferiblemente un dispositivo pasivo que tiene aplicada una configuración de presión predeterminada, aunque puede usarse un dispositivo activamente controlado. Un calentador de combustible 145 es opcionalmente provisto, por ejemplo en la línea presurizada de combustible 119 antes de la válvula 153, como se muestra en la Figura 1, o alternativamente en la línea de entrada de combustible 155 bien antes o después de la válvula reductora de presión 154.

[0017] Se proporciona una válvula de accionamiento más 161 en la línea de salida de ánodo 165. Cada válvula de accionamiento 152, 153, 161 puede estar provista con un elemento local de calentamiento para descongelar la válvula como se requiera, aunque el accionamiento de las válvulas 152, 153, 161 mediante el paso de corriente a través del solenoide proporcionará un cierto grado de calentamiento. Preferiblemente cada una de las válvulas actuadas 152, 153, 161 está configurada para ser a prueba de fallos, esto es solamente se abrirá cuando sea accionada por corriente pasando a través del solenoide.

[0018] Para controlar y aliviar presión de combustible dentro de la vía de flujo de ánodo, puede proporcionarse un sensor de presión PX1 y/o una válvula de alivio de presión 157. La válvula de alivio de presión 157 se configura preferiblemente para abrir y dejar escapar fluído de la vía de flujo de ánodo por una línea de escape de alivio de presión 158 cuando la presión en la vía de flujo de ánodo excede un nivel seguro de operación.

[0019] Puede estar presente una válvula adicional operable manualmente 162 en la línea de salida de ánodo 165, siendo esta válvula 162 para usarse por ejemplo durante el mantenimiento para asegurar la despresurización de la vía de flujo de ánodo. Puede ocurrir acumulación de agua en la vía de flujo de ánodo en el apilamiento de pila de combustible 110, por ejemplo como resultado de la difusión de agua a través de la PEM del lado cátodo. Como consecuencia, un separador de agua de escape de ánodo 163 puede proveerse en la línea de escape de ánodo 164 para separar cualquier agua presente en la línea de escape 164. Este agua puede escaparse u opcionalmente recircularse. Durante la operación del apilamiento de pila de combustible 110, la válvula 161 se mantiene normalmente cerrada, y únicamente abierta intermitentemente para dejar escapar cualquier acumulación de agua de la vía de fluído de ánodo.

[0020] Se proporciona una entrada de inyección de agua del cátodo 127 en el apilamiento de pilas de combustible 110, la entrada 127 conectada a una línea de inyección de agua del cátodo 125. La línea de inyección de agua del cátodo 125 puede ser calenteda a lo largo de una parte o en toda su longitud, y se extiende entre un recipiente de contención de agua 140 y la entrada de inyección de agua del cátodo 127. Puede ser provisto un calentador 129 para aplicar calor a una zona específica de la línea 125 para calentar el agua que pasa por la línea de inyección 125 hacia la entrada de inyección de agua del cátodo 127. Un sensor de presión adicional PX4 puede proporcionarse en la línea de inyección de agua del cátodo 125 con el fin de controlar la contrapresión en la línea 125 durante la operación.

[0021] El agua de la línea de salida del cátodo 121 es bombeada con una bomba de agua 132, opcionalmente provista con un calentador 143, a través de una línea de retorno de agua 128 hacia un recipiente de contención de agua 140. El exceso de agua es expulsado del sistema de pila de combustible fuera del recipiente de contención de agua 140 por la línea de rebosadero de agua 144.

[0022] La válvula solenoide de salida de ánodo 161 está configurada para regular una corriente saturada de gas y líquido extraída del apilamiento de pila de combustible 110. Como con la válvula solenoide de entrada de ánodo 153, la válvula solenoide de salida de ánodo 161 se controla electrónicamente y puede estar bien abierta o cerrada, estando preferiblemente cerrada cuando está desenergizada. Como la válvula 161 está sujeta a una corriente de gas saturado de líquido, pueden estar presentes gotitas de agua alrededor de la válvula cuando el sistema 100 se apaga. Si el sistema se somete entonces a condiciones ambientales sub-cero, la válvula 161 puede entonces cerrarse for congelación. Simplemente energizar la válvula es normalmente insuficiente para romper el hielo, de ahí que puede requerirse una combinación de calentamiento externo por un elemento calentador 166 conjuntamente con uso de calentamiento interno debido a la bobina energizada.

[0023] El calentador 166 está preferiblemente configurado para aplicar calor a la válvula solenoide de salida de ánodo 161 así como un separador de agua de salida de ánodo 163. El calentador 166 puede comprender un elemento de calentamiento de coeficiente de temperatura positivo (PTC), regulado para un intervalo de temperatura adecuado. El separador de agua de la línea de salida del ánodo 163 está configurado para separar agua de la corriente de escape de líquido y gas mezclados de la salida del ánodo 159 del apilamiento de pila de combustible 110. Preferiblementel el

separador de agua de la línea de salida del ánodo 163 está configurado de tal modo que el agua que pasa por la línea de escape de agua del ánodo 167 no contiene gas saturado en forma de burbujas en el agua de escape, con el fin de minimizar el riesgo de que surja una mezcla potencialmente explosiva en el escape de agua del ánodo. El gas combustible restante puede ser reciclado a la entrada de ánodo 156.

[0024] La configuración del sistema de ánodo mostrado en la Figura 1 puede también usarse para detectar fugas en el apilamiento de pila de combustible 110. Al abrir la válvula solenoide de la entrada de ánodo 153 mientras se mantiene la válvula solenoide de salida de ánodo 161 y la válvula bypass 165 cerradas, se permite que una cantidad de gas pase dentro del volumen del ánodo del apilamiento de pila de combustible 110. La válvula solenoide de la entrada de ánodo 153 es entonces cerrada, y la presión en la entrada del ánodo 156 supervisada en el tiempo por medio del sensor de presión PX1. La comparación de la presión como una función de tiempo con una curva precalibrada, que toma en cuenta la pérdida de combusible por conducción de protones a través de la PEM, permite la diagnosis de cualquiera pérdida adicional presente como resultado de fugas en el apilamiento de pila de combustible o en los componentes asociados en la vía de flujo de ánodo.

[0025] Como se genera calor mientras la válvula está energizada, la estrategia de control empleada preferiblemente tiene esto en cuenta durante la operación sub-cero. Aunque podría ser no realista asumir que la válvula pueda ser abierta inmediatamente cuando el sistema es arrancado en condiciones sub-cero, el tiempo requerido para abrir la válvula debería sin embargo ser minimizado. El transductor de presión PX1 en la línea de entrada de ánodo 155 puede usarse para controlar la apertura y el cierre de la válvula de salida del ánodo 161, y puede cambiarse una estrategia operacional de calentamiento interno a operación normal por consiguiente una vez que el transductor PX1 indique que la válvula 161 está funcionando correctamente. A causa de que la válvula de salida del ánodo 161 está normalmente cerrada, el transductor de presión registrará una reducción en la presión si la válvula 161 se abre. Si se impide que la válvula abra por causa de una acumulación de hielo, esto puede registrarse por ausencia de una caída de la presión al energizar la válvula 161. La estrategia de control puede por consiguiente configurarse para aplicar más calentamiento a la válvula 161 hasta que una caída de presión se registre al energizar la válvula 161.

[0026] Para aliviar presión del combustible dentro de la vía de flujo de ánodo, puede proporcionarse una válvula de alivio de presión 157. La válvula de alivio de presión 157 es preferiblemente configurada para abrir y dar escape al fluído de la vía de flujo de ánodo por una línea de escape de alivio de presión 158 cuando la presión en la vía de flujo de ánodo excede un nivel seguro de operación. El nivel seguro de operación puede ser configurado fuera de línea utilizando un transductor de presión calibrado y según la presión de régimen del apilamiento de pila de combustible110.

[0027] Puede estar presente una válvula adicional operable manualmente 162 en la línea de salida del ánodo 165, esta válvula 162 siendo utilizada por ejemplo durante el mantenimiento para asegurar la despresurización de la vía de flujo de ánodo. La acumulación de agua en la vía de flujo de ánodo en el apilamiento de pila de combustible 110 puede ocurrir, por ejemplo como resultado de la difusión de agua a través de la PEM del lado cátodo. Por consiguiente, puede proveerse el separador de agua de escape del ánodo 163 en la línea de escape de ánodo 164 para separar cualquier agua presente en la línea de escape 164. Este agua puede escapar u opcionalmente recircularse. Durante la operación del apilamiento de pila de combustible 110, la válvula 161 se mantiene normalmente cerrada, y únicamente a se abre intermitentemente para expulsar cualquier acumulación de agua de la vía de fluído de ánodo.

[0028] Una entrada de inyección de agua de cátodo 127 se provee en el apilamiento de pila de combustible 110, la entrada 127 conectada a una línea de inyección de agua de cátodo 125. La línea de inyección de agua de cátodo 125 puede estar calentada a lo largo de una parte o en toda su longitud, y se extiende entre un recipiente de contención de agua 140 y la entrada de inyección de agua del cátodo 127. Puede proveerse un calentador 129 para aplicar calor a una región específica de la línea 125 para calentar el agua que pasa a través de la línea de inyección 125 hacia la entrada de inyección de agua del cátodo 127. Un sensor adicional de presión PX4 puede proveerse en la línea de inyección de agua del cátodo 125 con el fin de controlar la contrapresión en la línea 125 durante la operación.

[0029] Se bombea agua de la línea de salida del cátodo 121 con una bomba de agua 132, opcionalmente provista de un calentador 143, por una línea de retorno de agua 128 hacia el recipiente de contención de agua 140. El exceso de agua es expulsado del sistema de pila de combustible 100 fuera del recipiente de contención de agua 140 por una línea de exceso de agua 144. Se proporcionan más detalles del recipiente de contención de agua en en la solicitud GB co-pendiente "Sistema de pila de combustible", con la misma fecha de presentación que la presente solicitud.

[0030] La Figura 2 ilustra un diagrama esquemático de un sistema ejemplo de control eléctrico 200 asociado con el apilamiento de pila de combustible 110 de la Figura 1. Las salidas de energía eléctrica 201, 202 están conectadas a una carga eléctrica 260, que representa diversos componentes de un sistema automotriz que incluye un motor junto con otros componentes energizados electricamente. Cuando la corriente aplicada a la carga 260 aumenta durante el arranque, la corriente derivada de una fuente de energía externa (por ejemplo una bateria o, en una aplicación estacionaria, energía eléctrica de red) puede ser reducida de forma correspondiente para mantener la intensidad demandada por la carga 260. Las tensiones de pilas individuales dentro del apilamiento de pila de combustible 110 salen del apilamiento 110 por medio de conexiones eléctricas a cada placa bipolar, las tensiones salen a una pluralidad de línea de tensión 220. Las indicaciones de la tensión de cada pila son introducidas, por medio de un multiplexor 205, a un microcontrolador 210.

[0031] La salida de tensión de cada pila del apilamiento de pila de combustible 110 puede ser medida por medio de la conexión a una lengueta lateral incorporada en el diseño de las placas bipolares de pila de combustible. La lengueta lateral podría ser en forma de un conector macho, permitiendo así el uso de un conector hembra de empalme, por ejemplo de los conectores tipo pala comúnmente utilizados para aplicaciones automotrices. Este estilo de conexión es adecuado para niveles altos de vibración. La tensión de cada pila puede determinarse respecto a un cero definido por utilización de una serie de amplificadores diferenciales en el multiplexor 205. Las indicaciones de tensión multiplexadas se introducen al microcontrolador 210.

[0032] El microcontrolador 210 está configurado para determinar la tensión de cada pila en el apilamiento de pila de combustible 110, y para controlar la acción de dos relés digitales configurados para accionar dos líneas de salida 211, 212. Los relés digitales, que pueden estar integrados dentro del microcontrolador 210, se controlan para indicar si la tensión de una o más pilas en el apilamiento de pila de combustible 110, como se provee en las líneas de tensión 220, cae por debajo de ciertos valores de tensión de umbral preestablecidos. A efectos de seguridad (por ejemplo en el caso de una conexión defectuosa, el microcontrolador 210 es configurado para fijar cada una de las líneas de salida altas únicamente si un nivel respectivo del umbral de tensión se excede por todas las pilas en el apilamiento de pila de combustible. Ambas líneas 211, 212 que son mantenidas altas por tanto indican un estado “saludable” de funcionamiento del apilamiento. El microcontrolador 210 es configurado para fijar los relés digitales para dispararse a diferentes niveles de umbral de tensión: un primer umbral de tensión indicando una condición de fallo y un segundo umbral de tensión indicando una condición de aviso. Normalmente, el segundo umbral de tensión es mayor que el primer umbral de tensión. Estos valores de umbral de tensión podrían ser fijados por medio de una interfaz de programa al microcontrolador 210. Así, la información digital en las líneas de salida 211, 212, correspondiendo al primer y segundo valores de tensión respectivamente, puede usarse por el sistema de control eléctrico de la pila de combustible 200 para regular la intensidad eléctrica extraída a través de las conexiones de salida 201, 202 y para ajustar parámetros tales como el caudal de aire con el fin de mejorar activamente la salud y durabilidad del apilamiento de pila de combustible 110. Valores normales para el primer y segundo niveles de tensión son alrededor de 0,4V y 0,6V respectivamente, pero estos valores pueden variar dependiendo de de diversos factores incluyendo el equilibrio térmico y la carga aceptable en el apilamiento.

[0033] La utilización de la información de umbral de la tensión de la pila es un modo útil de asegurar la operación segura de una pila de combustible, porque pueden ser normalmente indicados una serie de diferentes fallos recuperables por una o más pilas que tienen una salida baja de tensión. Preferiblemente, el nivel de tensión de la pila que funciona peor es utilizado para determinar los niveles establecidos en las línea de salidas 211, 212.

[0034] En el caso de una situación de aviso, indicada por la línea de salida 212 que es fijada baja, los parámetros de control del apilamiento de pila de combustible 110 pueden ser ajustados gradualmente, o la intensidad de corriente de la pila de combustible limitada, hasta que el aviso cesa, indicado por la línea de salida 212 que se fija alta. En el caso de una condición de fallo, indicada por la línea de salida 211 que se configura baja, la carga 260 puede ser temporalmente desconectada del apilamiento de pila de combustible 110, por ejemplo liberando un contacto eléctrico (no mostrado) instalado entre el apilamiento de pila de combustible 110 y la carga eléctrica 260. La carga 260 puede ser posteriormente reconectada una vez que la condición de fallo se haya eliminado, indicado por el microcontrolador configurando la línea de salida 211 alta.

[0035] El microcontrolador 210 puede ser sustituido por comparadores de soporte físico para determinar si las tensiones de pila están por debajo de los niveles de umbral preestablecidos. Un nivel de programa es por tanto eliminado, incrementando con ello la robustez de la técnica. Esto puede ser particularmente ventajoso cuando se considera la certificación y velocidad de respuesta del sistema global 200.

[0036] Además de la acción de los relés digitales, el microcontrolador 210 puede también configurarse para publicar la información de datos de tensión de pila en una CAN (Red de Área de Controlador) 240. La CAN permite supervisar y/o registrar un perfil de tensiones del apilamiento de pila de combustible 110 de las líneas de tensión 220 por medio de equipo apropiado tal como un ordenador externo 250 y/o una unidad de control eléctrico de pila de combustible (ECU) 230. Diversas funciones relacionadas con la optimización de la operación del sistema de pila de combustible pueden ser incorporadas dentro de la ECU, mientras que puede utilizarse un ordenador externo para diagnósticos y ensayos detallados del sistema de pila de combustible por medio de la información disponible en la CAN.

[0037] Los datos de perfil de tensión de pila pueden usarse para mejorar la eficacia y rendimiento de la pila de combustible en tiempo y bajo diferentes condiciones, por comparación con perfiles conocidos. Por ejemplo, una distribución de tensiones de pila a lo largo del apilamiento de pila de combustible que es inferior en los bordes del apilamiento 110 y que aumenta en el centro del apilamiento 110 indica normalmente que el apilamiento de pila de combustible 110 está frío o está recibiendo demasiada refrigeración. La situación contraria, es decir donde los niveles de tensión caen hacia el centro del apilamiento 110, indica que el apilamiento de pila de combustible 110 está caliente o está recibiendo demasiado poca refrigeración. La situación primera puede ser remediada disminuyendo el nivel de refrigeración y/o aplicando calor a los extremos del apilamiento 110, mientras que la última situación puede remediarse aumentando el nivel de refrigeración y/o reduciendo un nivel del calor aplicado a los extremos del apilamiento 110. La ECU puede ser configurada para controlar los niveles de tensión del apilamiento de pila de combustible 110 a intervalos fijados de tiempo, normalmente cada 100ms. Para la diagnosis y optimización del comportamiento de la pila de

combustible, el control de los niveles de la tensión puede también ser llevado a cabo a intervalos de tiempo mayores, normalmente del orden de minutos u horas, y pueden ser dirigidos a maximizar la vida útil del apilamiento de pila de combustible más que a optimizar su eficiencia operacional inmediata.

[0038] La temperatura de la entrada y/o salida del cátodo es preferiblemente controlada por un controlador del sistema de pila de combustible, tal como la ECU 230. Este control puede incluir tomar medidas de temperatura real de las corrientes de entrada y/o salida de cátodo, por ejemplo por medio de sensores de temperatura TX2, TX3. La temperatura de salida del ánodo puede también ser controlada, por ejemplo por medio de un sensor de temperatura en la línea de salida del ánodo 165. Alternativamente, o adicionalmente, la temperatura de entrada y/o salida del cátodo puede ser controlada indirectamente a través de mediciones de otros parámetros de pila de combustible conjuntamente con un modelo conocido de comportamiento térmico predeterminado del apilamiento de pila de combustible 110. Los parámetros pueden, por ejemplo, ser los de tiempo e intensidad eléctrica extraída en el tiempo. Tener en cuenta el comportamiento térmico conocido del apilamiento de pila de combustible permite al controlador de la pila de combustible 230 determinar indirectamente en qué punto la vía de flujo de cátodo que atraviesa el apilamiento de pila de combustible 110 alcanza la temperatura mínima requerida para el comienzo de la inyección de agua. El modelo de comportamiento térmico puede, por ejemplo, incluir parámetros tales como la velocidad a la cual se pierde calor al medio circundante para un intervalo de temperaturas, y el efecto del calentamiento en el apilamiento de pila de combustible para un intervalo de intensidad extraída. Integrando una medida de intensidad extraída en el tiempo, junto con cualquier efecto de calentamiento adicional debido a componentes tales como los calentadores de placas extremas 330a, 330b, mientras se tiene en cuenta el calor perdido del apilamiento 110 durante este tiempo, puede calcularse una estimación de la temperatura dentro de la vía de flujo de fluído de cátodo.

[0039] En un aspecto general por tanto, el control de la temperatura de entrada y/o salida del cátodo puede comprender tomar medidas de temperatura de las corrientes de salida y/o entrada del cátodo. Controlar la temperatura de entrada y/o salida del cátodo puede comprender calcular una estimación de las corrientes de salida y/o entrada del cátodo utilizando una medición de la intensidad extraída del apilamiento de pila de combustible con el paso del tiempo. El último enfoque preferiblemente tiene en cuenta un modelo térmico predeterminado del apilamiento de pila de combustible 110.

[0040] Un uso adicional de la información de la tensión de la pila es a través de la utilización de un algoritmo de optimización que busca maximizar la eficiencia total del sistema y salud de la pila de combustible. El algoritmo de optimización no debería requerir ningún conocimiento de los mecanismos del sistema, y debería disponerse para proporcionar una solución basada en valores finales de los criterios relevantes. En una forma simplificada, la optimización puede buscar reducir, y preferiblemente minimizar, la siguiente función de coste:

$$f(\sigma_v, P_p) = \alpha\sigma_v^2 + \beta P_p^2$$

en la que σ_v es una desviación estándar de las salidas de tensión de la pluralidad de pilas, Pp es una carga parásita y α, β son constantes.

[0041] El coste anterior es normalmente calculado a intervalos prescritos tomando un instántanea de los datos del sistema de pila de combustible incluyendo la distribución de las tensiones de pilas en líneas de tensión 220. Dentro de un cierto alcance, la desviación estándar de las tensiones individuales de las pilas del apilamiento de pila de combustible depende de la estequiometría de aire del sistema. En este contexto, la estequiometría del sistema se refiere a la cantidad molar de oxígeno disponible dentro del volumen de cátodo del apilamiento de pila de combustible 110 comparado con la cantidad necesaria para reaccionar con la cantidad de combustible que es alimentada en el volumen de ánodo. Un equilibrio estequiométrico de oxígeno e hidrógeno se indica por la reacción glonal:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

[0042] Para un equilibrio estequiométrico según la ecuación de arriba, se requiere el doble de moles de gas hidrógeno que de moles de gas oxígeno. Una estequiometría del cátodo de 2 indica por tanto que el mismo número de moles de oxígeno O_2 están atravesando el sistema del cátodo que de moles de hidrógeno H2 entrando en el sistema de ánodo. Normalmente, se requiereuna estequiometría de al menos 2 para mantener la eficacia de la reacción en un sistema de cátodo normalmente cerrado. En un sistema de cátodo abierto, la estequiometría puede ser tan alta como 50, es decir indicando que hay 25 veces más moles de gas oxígeno disponible que de moles de gas hidrógeno. Un incremento en la estequiometría hacia un equilibrio rico en oxígeno normalmente da lugar a un incremento del rendimiento bruto del apilamiento de pila de combustible y una reducción de la desviación estándar de la tensión de la pila de combustible. Sin embargo, con el fin de lograr este incremento en el contenido de oxígeno disponible se requiere un incremento en la carga parásita debido al método de suministro de aire utilizado (normalmente el compresor de aire 133). De ahí, la función de coste anterior es preferiblemente equilibrada con el fin de lograr un equilibrio adecuado entre la carga parásita y la distribución de la salida de tensión de la pila de combustible.

[0043] La carga parásita en el apilamiento de pila de combustible puede indicarse por una medida de la energía eléctrica consumida por uno o más componentes del sistema de pila de combustible 100 durante la operación. Una

medida de la carga parásita puede por tanto ser determinada a partir de mediciones de intensidad provista a uno o más de: el compresor de aire 133; placa (s) del calentador 330 (descritas en más detalle abajo); y los calentadores 138, 145 para aumentar la temperatura de las corrientes de entrada de cátodo y ánodo. Una medida en principio de la carga parásita puede indicarse por una medida de la energía eléctrica auxiliar extraída por el compresor de aire 133, ya que esta controla el equilibrio estequiométrico de gases en el apilamiento de pila de combustible 110. Tal medición podría, por ejemplo, obtenerse mediante por medición de la intensidad extraída por el compresor de aire 133 y/u otros dispositivos operados eléctricamente tales como bombas, válvulas, sensores, accionadores y controladores. El compresor de aire 133 puede energizarse desde un suministro de alta tensión, en cuyo caso una medición de la intensidad extraída de este suministro puede proporcionar la indicación necesaria.

[0044] Empezando desde una condición inicial, una rutina de opitimización normalmente actualiza el valor de ajuste de estequiométria (de aire) del cátodo a intervalos de tiempo fijados, por ejemplo cada minuto. Esto permite que el sistema se optimice gradualmente según las diferentes condiciones ambientales tales como cambios en presión ambiental (por ejemplo altitud) o temperatura y salud del apilamiento (por ejemplo degradación del apilamiento debido a envejecimiento).

[0045] Para ayudar al arranque del sistema de pila de combustible 100 desde temperatura ambiente sub-cero, pueden requerirse algunas de o todas las siguientes características:

i) una válvula de salida de hidrógeno calentado 161 (válvula de purga) y separador/colector de agua 163 (mostrado en la Figura 1);

ii) calentadores 138, 145 para aumentar la temperatura de las corrientes de entrada de cátodo y ánodo;

iii) calentadores 330 para aumentar la temperatura de los colectores de corriente en la pila de combustible, más detallado abajo con referencia a las Figuras 3, 4a y 4b;

iv) una fuente de agua líquida disponible para introducción al apilamiento de pila de combustible, tal como el recipiente de contención de agua 140 (Figura 1);

v) cinta calefactora de líneas para llevar agua líquida, incluyendo la línea de inyección de agua 125 y la linea de expulsión de agua 128 (Figura 1); y

vi) calentamiento de una zona alrededor de la entrada de inyección de agua de la pila de combustible 127.

[0046] Un ejemplo de procedimiento de arranque puede ser detallado como sigue. Primero, el compresor de aire 133 es arrancado y configurado para proporcionar un caudal fijado a la línea de aire del cátodo del apilamiento de pila de combustible 126. Para un apilamiento de pila de combustible con una zona activa de 200 cm cuadrados, el flujo requerido puede fijarse para alcanzarse según un valor de ajuste de intensidad de 80A o más. Esto es seguido del calentamiento de las líneas de agua 125, 128, la válvula de salida de hidrógeno 161, los colectores de corriente del apilamiento de pila de combustible 320a, 320b (a describir en conexión con la Figura 3) y la bomba de recuperación 132 entre el separador de agua 131 y el recipiente de contención de agua 140. Los calentadores en la línea de entrada del cátodo y ánodo 123, 155 son activados de tal modo que las temperaturas de entrada de las corrientes de gas en la línea de aire del cátodo 126 y la entrada de combustible del ánodo 156 son preferiblemente entre 5 y 10 °C. Cuando se arranca a partir de condiciones ambientales sub-cero, la temperatura de cada corriente es regulada a un máximo de 10 °C con el fin de asegurarse de que cualquier agua en la parte superior del apilamiento de pila de combustible (donde los gases son introducidos normalmente) no se descongele demasiado rápidamente y posteriormente se congele en la sección inferior del apilamiento de pila de combustible, que puede estar aún por debajo del punto de congelación. Los gases son por ello utilizados al menos parcialmente para calentar las vías de fluído de cátodo y ánodo hasta un grado de modo que el apilamiento de pila de combustible no provoque que el agua inyectada dentro del apilamiento por la entrada de inyección de agya 127 se congele.

[0047] Las válvula de entrada del ánodo 153 y la válvula de purga 161 son entonces activadas. En el estado de arranque, un acción agresiva para la válvula de purga es provocada activando repetidamente la válvula de purga 161 para promover el autocalentamiento dentro de la válvula 161 para descongelar y sacar, mediante vibraciones causadas por la activación repetida, cualquier pequeña acumulación de hielo que pueda impedir la apertura inmediata de la válvula.

[0048] Hasta que las temperaturas de salida y entrada del cátodo estén por encima al menos 5 °C, el apilamiento de pila de combustible se opera sin enfriamiento/humidificación por inyección de agua del cátodo. Esto es para asegurar que la introducción de agua por la entrada de inyección de agua del cátodo no resulte en formación de hielo dentro del volumen del cátodo del apilamiento de pila de combustible 110.

[0049] La ECU de pila de combustible toma control de la intensidad que es extraída del apilamiento 110. Se establece un límite superior para la intensidad que puede ser extraída, y la ECU de pila de combustible entonces dicta qué intensidad debería ser extraída de la pila de combustible. Este límite de intensidad está entre cero y el límite de intensidad superior, y es fijdo por la ECU. Este límite de intensidad debería ser menor que o igual a la corriente nominal

para la pila de combustible. Para un arranque más rápido, la ECU de la pila de combustible 230 puede establecer la intensidad extraída del apilamiento de pila de combustible 110 tan alta como sea permitido por los valores establecidos en las líneas digitales 211, 212. La ECU de la pila de combustible 230 controla continuamente la salud del apilamiento de pila de combustible110 y aplica o retira la carga 260 en consecuencia. La carga 260 se aplica y se retira generalmente a regímenes fijos respecto al tiempo, normalmente de modo que la intensidad se reduce, es decir, si ocurre que se sobrepasa un umbral de aviso de tensión, a un régimen mayor que el régimen al cual la intensidad aumenta cuando no se pasa ningún umbral de aviso. La intensidad de la pila de combustible se incrementa de forma que la intensidad aumenta según una línea de control objetivo y hasta que se alcanza una intensidad nominal del apilamiento de pila de combustible 110. Sin embargo, la ECU de la pila de combustible 230 fundamentalmente utiliza el nivel de aviso en la línea 212, es decir el mayor de los dos indicadores de umbral de tensión, para regular la intensidad que es extraída del apilamiento de pila de combustible 110 si la tensión de una o más pilas cae por debajo del umbral de aviso (o segundo) de tensión. La premisa básica es mantener creciente la intensidad extraída de la pila de combustible en línea con una línea de controld objetivo predeterminada hasta que se indique un aviso. El régimen predeterminado al que la intensidad crece puede establecerse de acuerdo a características particulares del apilamiento de pila de combustible tal como el tamaño del apilamiento, y el régimen puede ser predeterminado para variar en función de, por ejemplo, la magnitud de la intensidad extraída del apilamiento o una medida de la temperatura. El régimen máximo al que la intensidad crece es preferiblemente un valor predeterminado, normalmente entre 1 y 3 Amperios por segundo dependiendo del tamaño del apilamiento. Este régimen máximo determina el tiempo más corto en que el sistema de pila de combustible puede alcanzar la energía total de salida desde un arranque frío. Si una solicitud de valor de ajuste de intensidad, por ejemplo recibida de un sistema externo, es menor que este régimen máximo, el sistema de pila de combustible seguirá este valor más bajo. Después de que se indica un aviso, la intensidad entonces se reduce hasta que el aviso desaparece. De ahí que el control fundamentalmente aplica la intensidad máxima que la pila de combustible puede soportar sin dispararse un aviso de pila. Una ventaja de este enfoque es que el calor generado por la pila de combustible aumenta con una intensidad aumentada, de ahí que intensidades más elevadas equivalen a menor tiempo de descongelación. Este proceso de calentamiento inicial preferiblemente sucede antes de cualquier inyección de agua de enfriamiento / humidificación.

[0050] En un aspecto general, la intensidad extraída del apilamiento de pila de combustible 110 está limitada para evitar que una suma de tensiones de pila a lo largo del apilamiento de pila de combustible caiga por debajo de un tercer umbral de tensión, el tercer umbral de tensión siendo mayor que el segundo (aviso) umbral de tensión multiplicado por el número de pilas en el apilamiento de pila de combustible 110. Sin embargo, si la tensión de cualquiera de las pilas individuales cae por debajo del umbral de tensión de aviso, la intensidad se limita hasta que la tensión aumente de nuevo por encima del umbral.

[0051] Arrancando en frío, la tensión total del apilamiento puede regularse a un valor constante preestablecido, siendo este valor el número de pilas multiplicado por una tensión regulada preestablecida para cada pila. Una tensión normal para cada pila individual puede ser alrededor de 0,65V, y por tanto una tensión regulada para un apilamiento de 20 pilas será 13V. Aunque la tensión total del apilamiento tensión esté regulada, si una pila individual cae por debajo del umbral de aviso de tensión, por ejemplo 0,4V o alrededor del 62% de la tensión nominal, la intensidad extraída se regula adicionalmente para impedir que la tensión de la pila caiga más.

[0052] Puede aplicarse un aumento preestablecido de régimen en rampa para la intensidad más que regulación utilizando la tensión total del apilamiento. Sin embargo, la tensión preestablecida puede utilizarse para corregir automáticamente la temperatura de arranque del apilamiento y otras condiciones.

[0053] En la práctica, puede utilizarse una función matemática como el valor de ajuste para la intensidad del apilamiento, la cual podría tener en cuenta uno o más factores incluyendo tensión del apilamiento, temperatura del apilamiento, temperatura ambiental, tiempo desde el arranque y una desviación estándar de todos las tensiones de pila.

[0054] Una vez que la temperatura de entrada 156 y salida 159 del cátodo están por encima de 5°C, puede añadirse agua de enfriamiento/humidificación externa al apilamiento de pila de combustible 110 por la entrada de inyección de agua del cátodo 127. También en este momento, el control de la intensidad de la pila de combustible puede volver a algún otro método que sea utilizado para operación normal, y cualquier calentador en el apilamiento de pila de combustible 110 puede apagarse.

[0055] La Figura 3 ilustra esquemáticamente una vista lateral de un apilamiento de pila de combustible ejemplar 110. El apilamiento comprende un apilamiento de pilas de combustible individuales 310, con las placas colectoras de corriente 320a, 320b en extremos opuestos del apilamiento de pilas 310. Se proporcionan placas calentadoras 330a, 330b hacia extremos opuestos del apilamiento de pila de combustible 110, cada placa calentadora 330a, 330b estando colocada entre una respectiva placa colectora de corriente 320a, 320b y una respectiva placa extrema 350a, 350b. Cada placa calentadora 320a, 320b está térmica y eléctricamente aislada de la placa extrema respectiva 350a, 350b, preferiblemente por medio de placas aislantes adicionales 340a, 340b dispuestas entre las respectivas placas calentadoras 330a, 330b y placas extremas 350a, 350b.

[0056] El principal objetivo de las placas calentadoras 330a, 330b es calentar las pilas extremas 311 a la misma velocidad que el resto de las pilas en medio del apilamiento de pilas 310. Las placas calentadoras 330 también calientan

el canal alimentador de agua a los colectores para que así cuando el agua se conecte no se congele.

[0057] Cada placa calentadora 330, como se muestra en las Figuras 4a y 4b, está construida a partir de dos circuitos eléctricos de calentamiento. Los dos circuitos, por ejemplo en forma de bandas de cobre, están preferiblemente embebidos en la placa 330 y por ello aislados de un colector de corriente contiguo. La Figura 4a muestra una vista en perspectiva de una cara de una ejemplo de placa calentadora 330, mientras que la Figura 4b muestra una vista en perspectiva de la cara opuesta de la misma placa calentadora 330. La placa 330 generalmente comprede dos bandas enterradas en forma de elementos de calentamiento eléctricamente conductores 410, 420 formados sobre un circuito impreso 430, los elementos de calentamiento 410, 420 formando bandas en zigzag que van a lo largo de la placa calentadora por una zona correspondiente a la zona activa de las pilas de combustivle subyacentes en el apilamiento de pila de combustible 110. Por claridad, las bandas enterradas 410, 420 se muestran para que estén visibles en la Figura 4a, pero en la práctica las bandas pueden no ser visibles por estar cubiertas por una capa de cubierta eléctricamente aislante y/o un circuito impreso adicional. La placa calentadora 330 es energizada externamente por medio de una fuente de energía eléctrica tal como una bateria de almacenamineto, con conexiones terminales positiva y negativa por lenguetas laterales 411, 412, 413, 414 en forma de conexiones de pala en un borde de la placa calentadora 330: Estas lenguetas 411, 412, 413, 414, aunque estén localizadas cercanas entre sí para comodidad de cableado, están preferiblemente separadas por un entrehierro 415, 416. Los entrehierros 415, 416 actúan para evitar que agua condensada, que puede formarse durante el proceso de descongelación, produzca un cortocircuito eléctrico.

[0058] Además de la función de calentamiento del colector de corriente, la placa calentadora 330 puede también servir para transferir agua inyectada dentro del apilamiento de pila de combustible 110 (para refrigeración y humidificación) de una entrada única de inyección de agua 450 a puertos 460 correspondientes a múltiples galerías que van a lo largo de la longitud del apilamiento de pila de combustible 110, las galerías estando configuradas para suministrar agua a cada pila individual. Vías de distribución de agua 470 entre la entrada 450 y los puertos 460 son diseñan de tal modo que son básicamente de igual longitud, para que así la caída de presión y caudal consiguiente a lo largo de cada vía sea igual. La característica de la distribución de agua es únicamente requerida para una de las placas calentadoras 330a, 330b, porque el agua es normalmente inyectada en sólo un extremo del apilamiento de pila de combustible 110. Cada placa calentadora 330 también contiene más puertos 470 para permitir que pasen aire e hidrógeno a través de las pilas individuales.

[0059] Ilustrada además en la Figura 5 hay una vista esquemática en sección de parte del apilamiento de pila de combustible 110 de la Figura 3. Una línea de alimentación de agua 510 permite la entrada de agua a través de la placa extrema 350, el agua siendo dirigida a lo largo de un camino indicado por la flecha 520. La línea de alimentación de agua 510 preferiblemente comprende un elemento calefactor para impedir la congelación del agua que pasa por la línea 510. El agua pasa a través de la placa extrema, la capa de aislamiento 340, pasada la entrada de inyección de agua en la placa calentadora 330, a lo largo de las bandas de distribución de agua 470, a través de los puertos 460 (Figura 4b) y a lo largo las galerías de distribución para distribución a las pilas individuales 310. La placa colectora de corriente 320 transmite corriente eléctrica desde el apilamiento 110 mediante un cable unido 530 a la carga 260 (Figura 2). Un beneficio de tener bandas de distribución de agua 470 en la placa extrema 35 es que no se necesita una placa separada de distribución de agua, requiriendo por tanto un componente menos en el apilamiento de pila de combustible. Una ventaja adicional es que los canales son precalentados, lo que evita que el agua se congele al entrar en el apilamiento.

[0060] La construcción del apilamiento de pila de combustible 110 mostrada en la Figura 5 permite que las pilas 311 en extremos opuestos del apilamiento de pilas 310 se calienten rápidamente, mediante las placas calentadoras 330 que están aisladas de las placa extremas 350. Las placas extremas 350 generalmente tendrán una alta masa térmica por la necesidad de proporcionar una estructura de apoyo rígida para la aplicación homogénea de presión compresiva por toda la zona activa de cada pila 310. Esta alta masa térmica, si no se aisla térmicamente de las pilas 310, tenderá a reducir la velocidad de calentamiento de los extremos del apilamiento 110. Las placas bipolares individuales en el apilamiento 110, sin embargo, pueden construirse para tener una masa inferior térmica y pueden en consecuencia ser calentadas rápidamente durante el procedimiento de arranque. Aislando las placas extremas, las pilas 310 pueden por tando ser calentadas más rápidamente, permitiendo un tiempo de arranque más corto desde frío. Preferiblemente, se aplica suficiente calor mediante las placas calentadoras 330 para que los extremos del apilamiento de pila de combustible 110 se calienten a una velocidad parecida a la zona media. Normalmente, los calentadores de colector de corriente son de tamaño tal que extraen suficiente energía cuando operados para calentas las pilas extremas del apilamiento durante el arranque. Si la energía extraída es demasiado baja los calentadores no calientan las pilas suficientemente durante el arranque, y si la energía es demasiado alta las pilas extremas tenderán a sobrecalentarse y con ello limitar el rendimiento del apilamiento.

[0061] Durante un arranque normal a partir de un largo período a temperaturas sub-cero, todos los componentes que se muestran en las Figuras 4 y 5 estarían por debajo de cero Celsius. Cuando el sistema es arrancado, se suministra combustible y oxidante al apilamiento de pilas de combustible 310. Entonces comienza a extraerse corriente eléctrica, y las pilas 310 comienzan a calentarse. La placa calentadora 330 es activada durante el arranque de modo que la placa detectora de corriente 320 se calienta a una velocidad parecida a las pilas 310, las cuales tenderán a tener una inercia térmica menor asi como a estar aisladas térmicamente en comparación con las placas extremas de pila 350. Las pilas 319 alcanzarán finalmente una temperatura a la que se requiere inyeccón de agua para impedir el sobrecalentamiento.

En una pila de combustible normal esto será en un período de unos 15 a 60 segundos, cuando se comienza a partir de ladesde una temperatura de -20°C. En este momento, se inyecta agua por medio de la tuberia de línea de alimentación de agua calentada 510 (también mostrada como la línea de inyección de agua de cátodo 125 en la Figura 1). Es importate que todos los corredores desde la tubería 510 a las pilas individuales 30 estén libres de hielo en este momento. Se pasa agua a través de la placa extrema 350 y por la placa calentadora 340 para impedir que el agua se congele en los puertos de transferencia interna y las bandas de distribución de agua 450, 460, 470 (Figura 4b).

[0062] Las ventajas de las placas calentadoras 330 antes descritas incluyen una o más de las siguientes:

i) las placas 330a, 330b permiten el calentamiento eléctrico rápido de los colectores de corriente del apilamiento de pila de combustible 110;

ii) la conexión a un suministro eléctrico está hecha de tal modo que se evitan los cortocircuitos por gotitas de agua condensada;

iii) se posibilita la distribución homogénea de agua de refrigeración desde un sólo punto de inyección a las galerías apropiadas de distribución por el uso de las bandas de distribución 470 de longitud homogénea;

iv) los fluídos de entrada y salida del cátod y el ánodo pueden atravesar las placas calentadoras 330a, 330b;

v) una inercia térmica reducida en los extremos del apilamiento de pila de combustibler da lugar a un equilibrio mejorado del perfil térmico del apilamiento; y

vi) puede inyectarse agua antes, para impedir que las pilas en el centro del apilamiento 110 se sobrecalienten, lo que sería al contrario en el caso sin las placas calentadoras 330.

[0063] La Figura 6 ilusta un diagrama de flujo esquemático de un procedimiento de ejemplo seguido durante la operación de arranque de un sistema de pila de combustible según la invención. El primer paso 610 es iniciar la operación, por ejemplo aplicando energía eléctrica (por ejemplo, de una unidad de almacenamiento de batería) a la unidad eléctrica de control 230 (Figura 2). La ECU entonces, en el paso 611, opera la válvula de entrada del ánodo 153 (Figura 1), opcionalmente operando un calentador integrado en la válvula 153 y/o activando el solenoide en la válvula, como se describe antes. La ECU puede determinar si la válvula del ánodo está abierta (paso 612), por ejemplo, controlando la lectura de presión en el sensor de presión PX1 (Figura 1) cerca o en la entrada del ánodo 156.

[0064] Una vez que la válvula del ánodo 153 esté abierta, el compresor de aire 133 se activa (paso 613). Alternativamente, el compresor de aire 133 podría activarse antes de operar la válvula del ánodo 153. Un límite inicial de intensidad se determina entonces para el apilamiento de pila de combustible 110, en el paso 614. Este límite inicial de intensidad puede ser cero o un níver mayor al que el apilamiento de pila de combustible 110 puede comenzar la operación segura desde frio.

[0065] Durante el período cuando el apilamiento de pila de combustible 110 se está calentando, la ECU procede a tomar decisiones basadas en si la salida mínima de tensión de las pilas en el apilamiento, V_{min}, es mayor que el primer y segundo nivel de umbral de tensión V_1 y V_2, en los pasos 615 y 618. Como se describe antes, estas decisiones pueden hacerse en base a los valores presentes en las líneas digitales 211, 212 (Figura 2). Si, en el paso 615, el nivel mínimo de tensión de pila no es mayor que el primer nivel de umbral de tensión V_1, la salida de corriente se apaga (paso 616). El proceso entonces espera (paso 617) durante un período predeterminado, normalmente unos pocos segundos, antes de reconectar la corriente. El límite de la corriente puede entonces ser fijado al nivel que estaba antes de que fuera apagada, o reestablecida al límite inicial de corriente. Si la salida mínima de tensión no es menor que V_1, pero no es mayor que V_2, el nivel de umbral de aviso o segundo de tensión, el límite de corriente se reduce (paso 619) hasta que V_{min} es mayor que V_2.

[0066] El límite de corriente se incrementa entonces (paso 620) en una cantidad predeterminada. La velocidad a la cual el límite de corriente se incrementa puede ser una cantidad fijada, tal como 0,5 Amperios por segundo, o alguna otra velocidad dependiente del nivel fijado en ete momento.

[0067] En el paso 621, se hace una evaluación de si las lecturas de temperatura en las líneas de entrada 123 y de salida 121 de la vía de flujo de cátodo, T_{in}, T_{out} respectívamente, son mayores que una temperatura mínima requerida, T_{min}. Estas lecturas de temperatura pueden ser obtenidas, por ejemplo, de sensores de temperatura TX2, TX3 (Figura 1). Si ambas lecturas de temperatura son mayores que T_{min}, el sistema de inyección de agua se activa, en el paso 622. Alternativamente, la decisión en el paso 621 puede depender solamente de la temperatura T_{out} de la línea de salida del cátodo. El sistema de inyección de agua entonces continúa en funcionamiento, variado en función de la temperatura de la corriente de aire del cátodo, hasta o a menos que la temperatura de la corriente de aire caiga por debajo del nivel mínimo T_{min} o si el sistema de pila de combustible debe apagarse.

[0068] Durante el arranque, se hace una evaluación, en el paso 623, de si el límite de corriente I ha alcanzado la corriente nominal del apilamiento de pila de combustible 110. Si el límite de corriente es menor que la corriente nominal, $I_{nominal}$, el proceso de arranque continúa, procediendo al paso previo 615. Una vez que el límite de corriente es alcanzado, el sistema de pila de combustible procede con un modo continuo de operación, en el paso 624.

[0069] Durante la operación continua, el sistema de pila de combustible 100 preferiblemente continúa controlando el nivel de tensión V_{min} y la temperatura de diversas partes del sistema 100. La ECU también continúa controlando la operación y adapta los parámetros de operación del sistema 100 para optimizar la operación, como se describe antes.

[0070] La Figura 7 ilustra datos de ejemplo de un sistema de pila de combustible durante el arranque, en el que la intensidad de carga 710 aumenta desde cero hacia la corriente nominal, en este caso 100A. La tensión del apilamiento 720 varía como resultado durante este ascenso de la corriente. También se muestran en la Figura 7 curvas correspondientes a la variación de la temperatura de escape del cátodo 730, la temperatura de control de agua de la the placa extrema 740, la temperatura del aire de la placa extrema 750, la temperatura de escape del ánodo 760, la contrapresión de la bomba de agua 770 y el caudal de agua del cátodo 780 durante el arranque.

[0071] La prueba ilustrada en la Figura 7 se llevó a cabo sobre un apilamiento de 20 pilas. Se usó un valor de ajuste de 13 voltios para la ECU 230, funcionando en un modo de control en bucle cerrado. Inicialmente, con el apilamiento arrancando de frío (por ejemplo a -20 °C), se logró un valor de ajuste de 13V con una carga de corriente de unos pocos amperios. Mientras el apilamiento se calienta, la ECU intenta regular la tensión del apilamiento a 13V y aumenta en rampa la corriente 710. Al final de un primer período de tiempo 711, la tensión del apilamiento 720 cae debido a una o más pilas que rinden menos bien, en este cado debido a sobrecalentamiento. Como resultado, la ECU reduce entonces la intensidad. Al final de un segundo período de tiempo 712, el sistema de inyección de agua se enciende, Una vez que el agua se inyecta en el apilamiento, la tensión aumenta. La ECU entonces incrementa la intensidad 710 hasta que la temperatura del ánodo supera los 0 °C. En este punto se considera que el apilamiento está descongelado, de modo que la corriente 710 se hace aumentar más rápidamente al punto de carga completa de 100A.

[0072] En la estrategia antes descrita, las velocidades de rampa para incrementar la carga de corriente están limitadas a niveles máximos predeterminados. En el particular ensayo ilustrado por la Figura 7, el sistema de inyección de agua fue activado únicamente cuando el escape del cátodo alcanzó 20 °C, con el fin de asegurar que el agua no se congelara en el apilamiento al inyectarse.

[0073] En el ensayo ilustrado por la Figura 7, durante el primer período inicial de tiempo 711 la carga de corriente 710 aumenta gradualmente desde cero a unos 40A, mientras que la tensión medida del apilamiento 720 permanece prácticamente constante (tras una caída inicial a la aplicación de la carga). Después de que la ECU detecta que la tensión de una o más pilas en el apilamiento ha caído por debajo de un nivel del umbral de aviso, la carga de corriente 710 se reduce gradualmente durante el segundo período de tiempo 712 hasta que el umbral de tensión de aviso se excede. Durante los primer y segundo períodos de tiempo 711, 712, la temperatura de escape del cátodo 730 aumenta y, durante el segundo período de tiempo 712, excede los 20 °C, en cuyo momento el sistema de inyección de agua se activa. El inicio de la inyección de agua se indica por un incremento repentino del caudal de agua refrigerante 780, seguido de una pequeña caída en la temperatura de escape del cátodo 730. La temperatura de agua y aire de la placa extrema 740, 750 continúa aumentando gradualmente a lo largo de todo el período de arranque, mientras que los calentadores de la placa extrema 330 se activan y el apilamiento continúa calentándose.

[0074] Durante un tercer período de tiempo 713, la carga de corriente 710 continúa aumentado, aunque a una velocidad limitada por la salida de tensión de las pilas del apilamiento. Un aumento brusco en la temperatura de escape del ánodo 760 hacia el final de este período 713 indica que las pilas en el apilamiento están calentadas y humidificadas óptimamente. Esto es seguido por un aumento más veloz de la carga de corriente durante un cuarto período de tiempo 714, durante el que la carga de corriente no necesita retrocederse debido a baja tensión de la pila. La corriente estimada de 100A se alcanza entonces y el sistema de pila de combustible empieza la operación continua durante un quinto período de tiempo 715. En el apagado 716 del sistema de pila de combustible, entre 17 y 18 minutos después del arranque inicial, la carga de corriente 710 se corta y el sistema de inyección de agua se deshabilita, lo último indicado por una caída drástica en la contrapresión de la bomba de agua 770. La tensión del apilamiento 720 rápidamente aumenta en ausencia de la carga de corriente 710, y luego cae gradualmente a medida que el combustible remanente en la pila de combustible 110 se disipa.

[0075] Se pretende que otras realizaciones estén dentro del ámbito de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de pila de combustible (100) que comprende un apilamiento de pila de combustible (110) y una unidad eléctrica de control (230) configurada para ajustar parámetros de operación del apilamiento de pila de combustible (110) para optimizar la operación del sistema de pila de combustible (100) en una desviación estándar de salidas de tensión de una pluralidad de pilas en el apilamiento de pila de combustible (110), **caracterizado porque** la unidad eléctrica de control (230) está configurada para optimizar la operación del sistema de pila de combustible (100) ajustando los parámetros de operación del apilamiento de pila de combustible para reducir la función

$$f(\sigma_v, P_p) = \alpha\sigma_v^2 + \beta P_p^2$$

en la que σ_v es una desviación estándar de las salidas de tensión de la pluralidad de pilas, Pp es una carga parásita y α, β son constantes.

2. El sistema de pila de combustible (100) de la Reivindicación 1 en el que los parámetros de operación incluyen uno o más de:

i) un caudal de aire suministrado a una entrada de cátodo (156) en el apilamiento de pila de combustible;

ii) un nivel de calor aplicado al apilamiento de pila de combustible (110) por medio de placas calentadoras (330a, 330b) provistas en extremos opuestos del apilamiento (110); y

iii) la intensidad extraída del apilamiento de pila de combustible (110).

3. Un sistema de pila de combustible (100) según la Reivindicación 1 o la Reivindicación 2 en donde la unidad eléctrica de control (230) está configurada para:

i) abrir una válvula de entrada de ánodo (153) para permitir que entre combustible en un volumen de ánodo del apilamiento de pila de combustible (110);

ii) operar un compresor de aire(133) en comunicación fluída con la línea de aire del cátodo (156) del apilamiento de pila de combustible (110) para permitir que entre aire en un volumen de cátodo del apilamiento de pila de combustible (110);

iii) controlar la temperatura de la entrada y/o salida del cátodo (156);

iv) operar un sistema de inyección de agua para inyectar agua en el volumen de cátodo una vez la temperatura del fluído que pasa a través de la entrada y/o salida del cátodo exceda un nivel preestablecido; y

v) limitar una intensidad extraída del apilamiento de pila de combustible para evitar que una tensión medida en una o más pilas en el apilamiento de pila de combustible caiga por debajo de un primer umbral de tensión.

4. El sistema de pila de combustible de la Reivindicación 3 que comprende una unidad multiplexora configurada para recibir señales de tensión desde cada una de la pluralidad de pilas y proporcionar al menos dos salidas digitales a la unidad eléctrica de control para indicar la tensión de una o más de la pluralidad de pilas.

5. El sistema de pila de combustible de la Reivindicación 4 en el que las salidas digitales están adaptadas para indicar si:

i) la tensión de una o más pilas está por debajo del primer umbral de tensión; y

ii) la tensión de una o más pilas está por debajo de un segundo umbral de tensión mayor que el primer umbral de tensión.

6. El sistema de pila de combustible de la Reivindicación 5 en el que la unidad eléctrica de control está configurada para desconectar el apilamiento de pila de combustible de una carga eléctrica si las salidas digitales indican que la tensión de una o más pilas está por debajo del primer umbral de tensión y para reconectar la carga eléctrica después de que la tensión aumente por encima del segundo umbral de tensión.

7. El sistema de pila de combustible de la Reivindicación 4 o 5 que comprende una Red de Área de Controlador, en donde el controlador y/o multiplexor están configurados para proporcionar una indicación de la tensión de cada una de la pluralidad de pilas a la Red de Área de Controlador.

8. Un método para optimizar la operación de un sistema de pila de combustible que comprende un apilamiento de pila de combustible y una unidad eléctrica de control, el método comprendiendo:

proporcionar una indicación de una salida de tensión de cada una de una pluralidad de pilas en el apilamiento de pila de combustible a la unidad de control eléctrico; y

optimizar la operación del sistema de pila de combustible en base a una desviación estándar de las salidas de tensión de la pluralidad de pilas,

en el que la unidad eléctrica de control ajusta los parámetros de operación del apilamiento de pila de combustible para optimizar la operación del sistema de pila de combustible, **caracterizado porque** la unidad eléctrica de control optimiza la operación del sistema de pila de combustible ajustando los parámetros de funcionamiento del apilamiento de pila de combustible para reducir la función

$$f(\sigma_v, P_p) = \alpha\sigma_v^2 + \beta P_p^2$$

donde σ_v es la desviación estándar de las salidas de tensión de la pluralidad de pilas, Pp es la carga eléctrica parásita y α, β son constantes.

9. El método de la Reivindicación 8 en el que los parámetros de operación incluyen uno o más de:

i) un caudal de aire suministrado a una entrada de cátodo en el apilamiento de pila de combustible;

ii) un nivel de calor aplicado al apilamiento de pila de combustible por medio de placas calentadoras provistas en extremos opuestos del apilamiento; y

iii) la intensidad extraída del apilamiento de pila de combustible.

10. Un métdo para comenzar la operación de un sistema de pila de combustible que comprende un apilamiento de pila de combustible, el método comprendiendo los pasos de:

i) abrir una válvula de entrada de ánodo para permitir que entre combustible en un volumen de ánodo del apilamiento de pila de combustible;

ii) operar un compresor de aire en comunicación fluída con una entrada de aire de cátodo del apilamiento de pila de combustible para permitir que entre aire en un volumen de cátodo del apilamiento de pila de combustible;

iii) controlar la temperatura de la entrada y/o salida del cátodo;

iv) operar un sistema de inyección de agua para inyectar agua dentro del volumen de cátodo una vez que la temperatura del fluído que pasa a través de la entrada y/o salida del cátodo exceda un nivel preestablecido; y

optimizar la operación del sistema de pila de combustible según el método de la Reivindicación 8,

en donde una intensidad extraída del apilamiento de pila de combustible está limitada para impedir que una tensión medida en una o más pilas en el apilamiento de pila de combustible caiga por debajo de un primer umbral de tensión.

11. El método de la Reivindicación 10 en el que una indicación de una tensión de cada una de una pluralidad de pilas en el apilamiento de pila de combustible se proporciona a un controlador, el controlador ajustando parámetros de control del sistema de pila de combustible.

12. El método de la Reivindicación 11 en el que el controlador proporciona salidas digitales para indicar la tensión de una o más de la pluralidad de pilas.

13. El método de la Reivindicación 12 en donde las salidas digitales indican si:

i) la tensión de una o más pilas está por debajo del primer umbral de tensión; y

ii) la tensión de una o más pilas está por debajo de un segundo umbral de tensión mayor que el primer umbral de tensión.

14. El método de la Reivindicación 13 en el que, si las salidas digitales indican que la tensión de una o más pilas está por debajo el primer umbral de tensión, el apilamiento de pila de combustible se desconecta de una carga eléctrica, la carga eléctrica siendo reconectada después de que la tensión aumente por encima del segundo umbral de tensión.

15. El método de cualquiera de las Reivindicaciones 11 a 14 en el que el controlador proporciona una indicación de la tensión de cada una de la pluralidad de pilas a una Red de Área de Controlador.

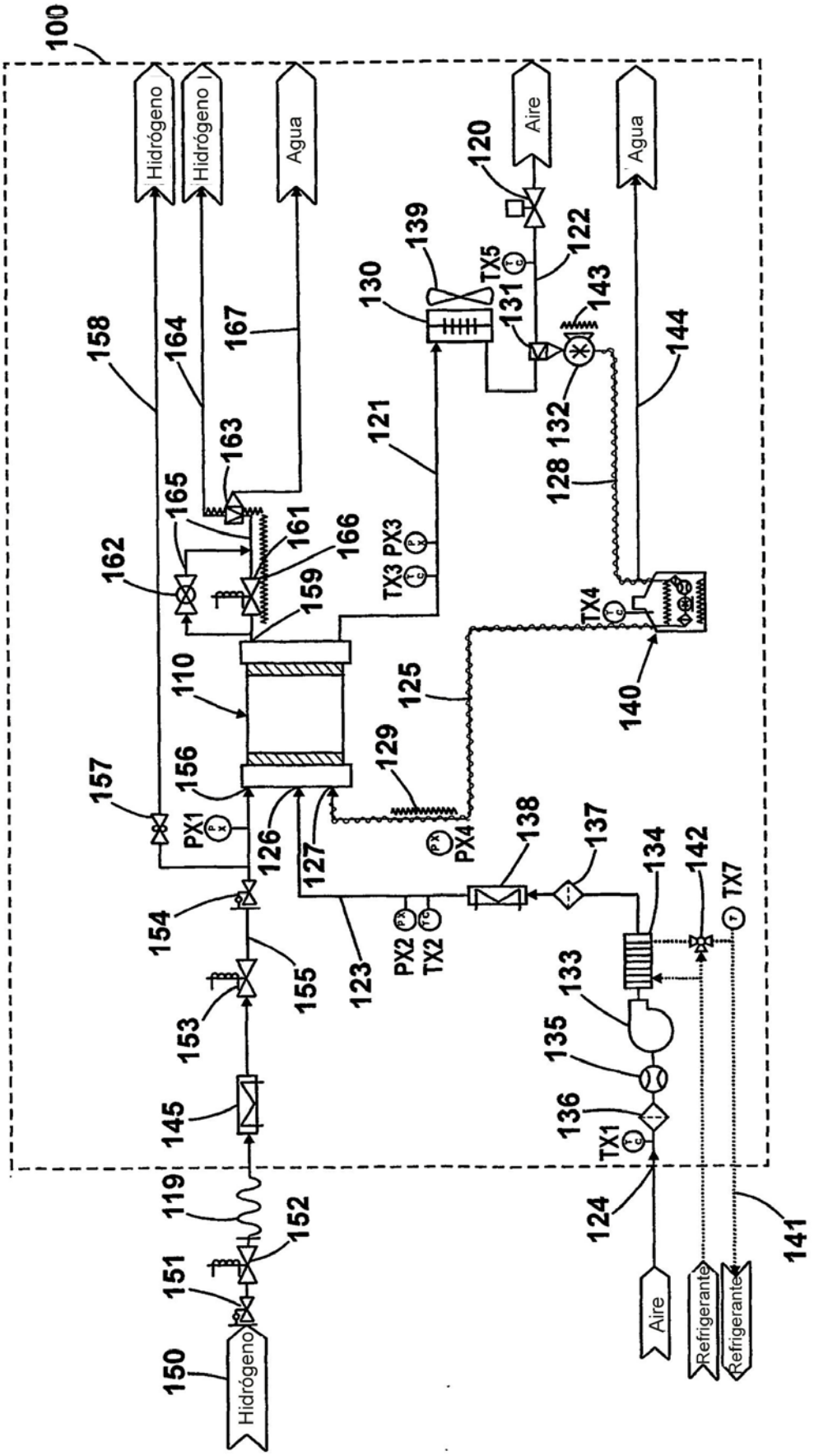
100
Hidrógeno
Hidrógeno
Agua
Aire
Agua
Hidrógeno
Aire
Refrigerante
Refrigerante
110
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
161
162
163
164
165
166
167
PX1
PX2
PX3
PX4
TX1
TX2
TX3
TX4
TX5
TX7

Fig. 1

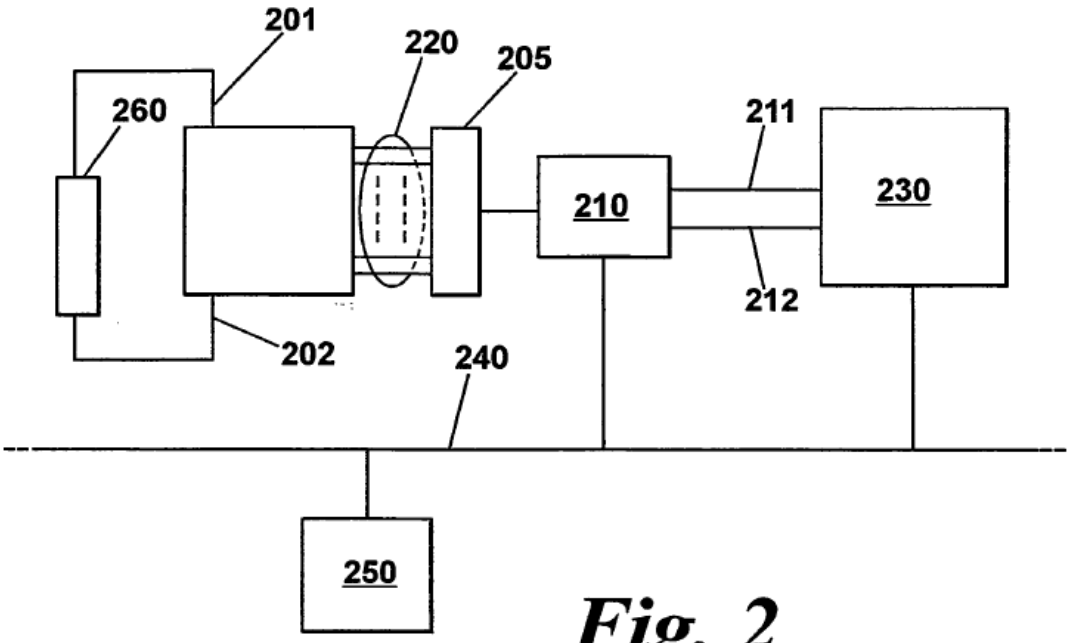
201
220
205
260
211
210
230
212
202
240
250

Fig. 2

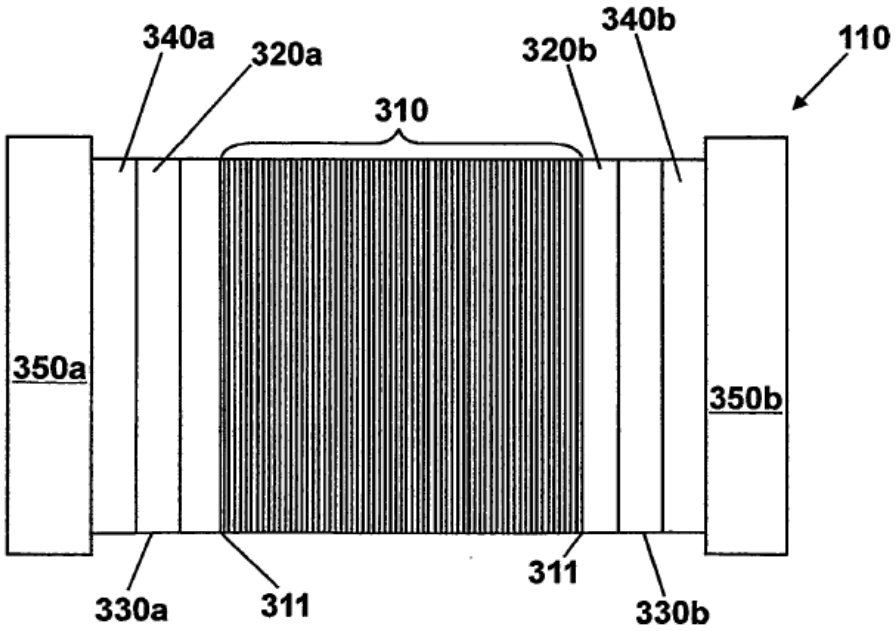
340a
320a
340b
320b
110
310
350a
350b
330a
311
311
330b

Fig. 3

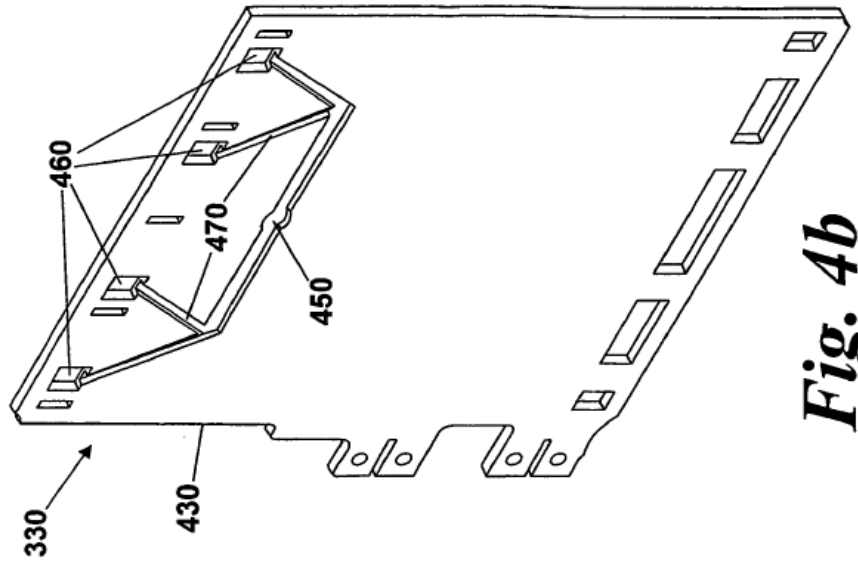

Fig. 4b

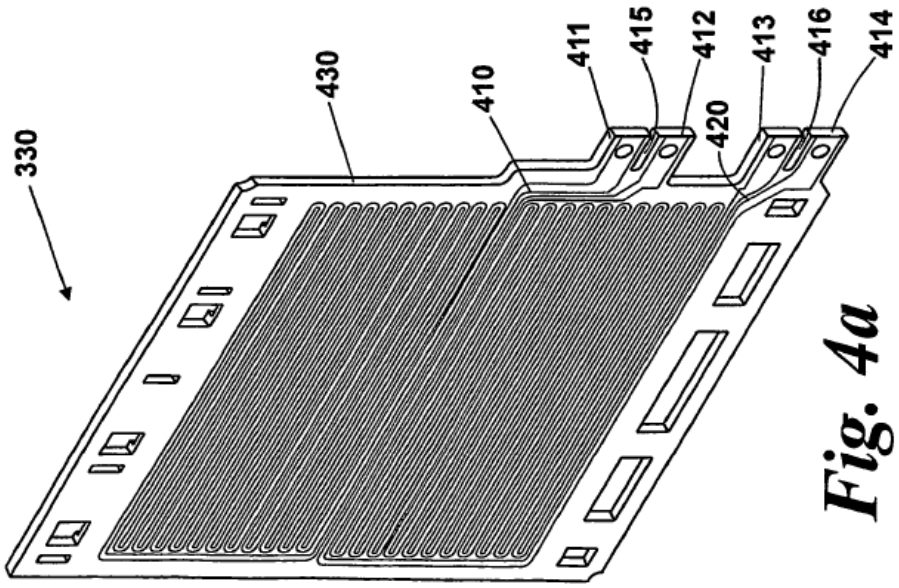

Fig. 4a

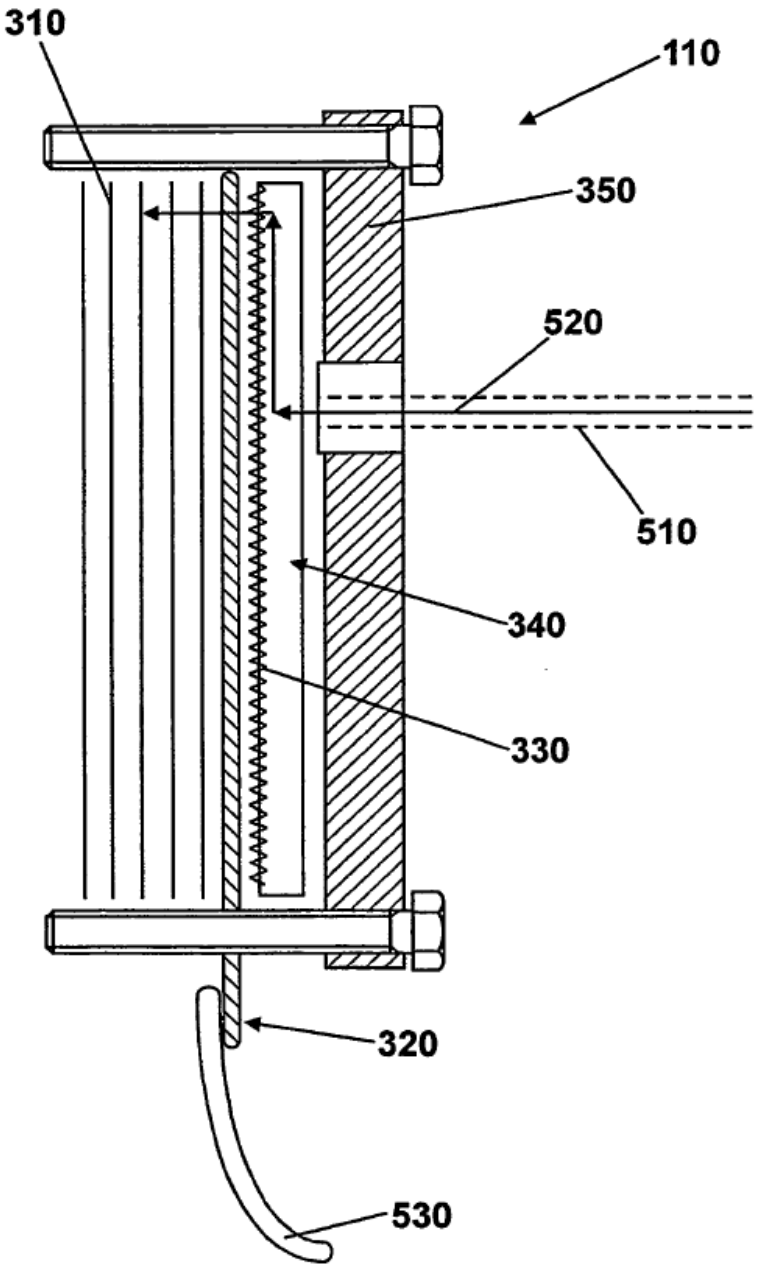

Fig. 5

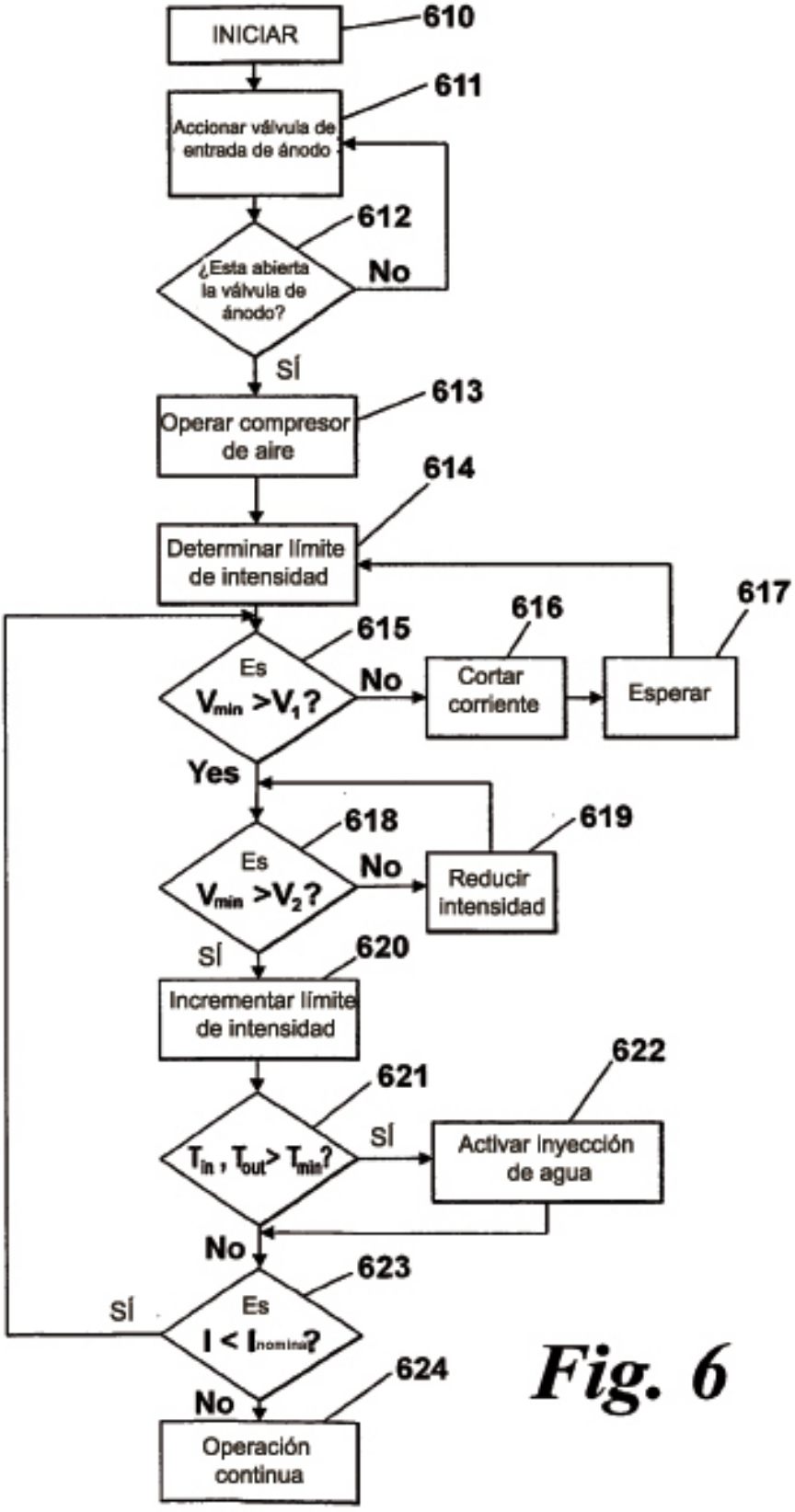
INICIAR
610
Accionar válvula de entrada de ánodo
611
¿Esta abierta la válvula de ánodo?
612
No
SÍ
Operar compresor de aire
613
Determinar límite de intensidad
614
Es $V_{min} > V_1$?
615
No
Cortar corriente
616
Esperar
617
Yes
Es $V_{min} > V_2$?
618
No
Reducir intensidad
619
SÍ
Incrementar límite de intensidad
620
T_{in}, $T_{out} > T_{min}$?
621
SÍ
Activar inyección de agua
622
No
Es $I < I_{nominal}$?
623
SÍ
No
Operación continua
624

Fig. 6

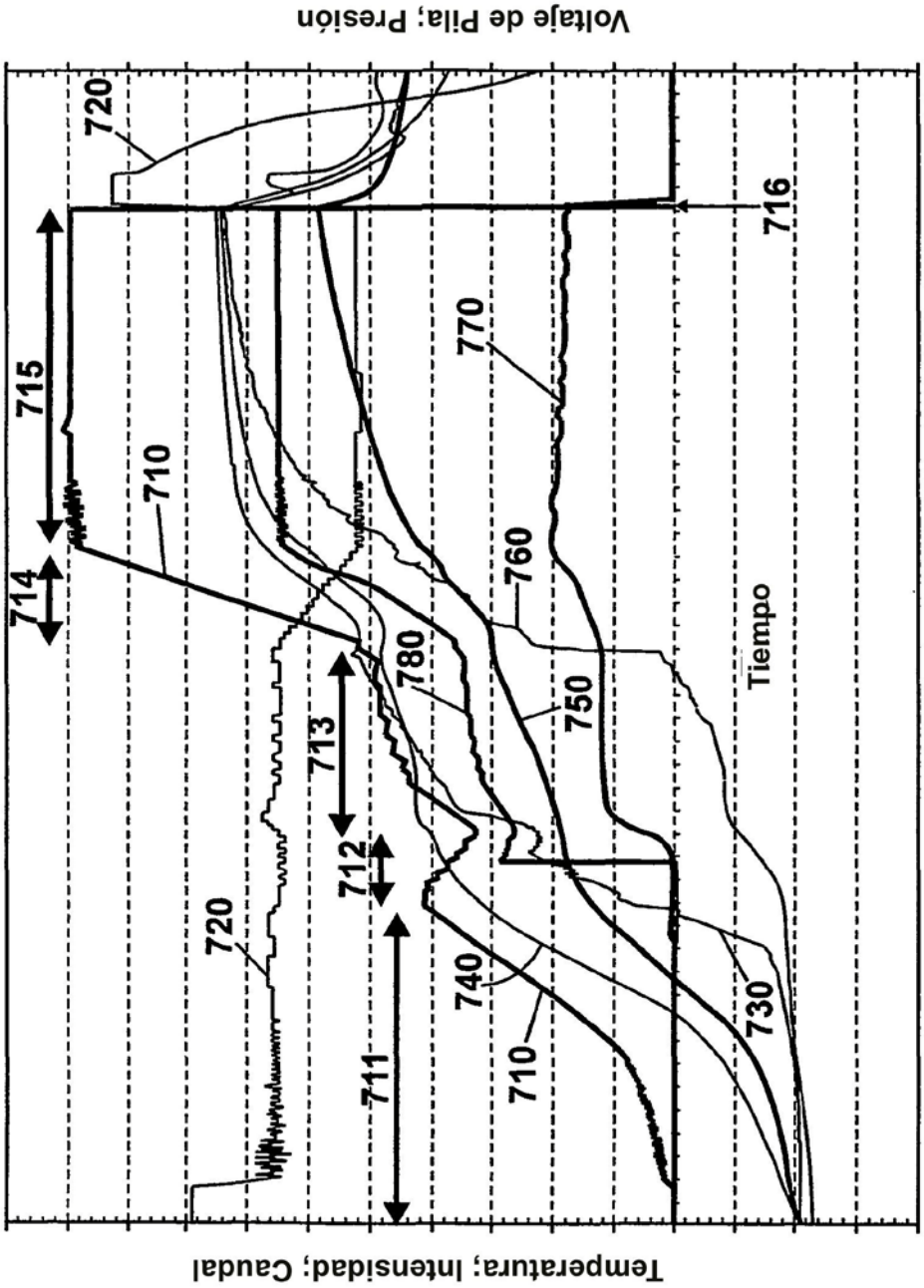
Voltaje de Pila; Presión
Temperatura; Intensidad; Caudal
Tiempo
710
711
712
713
714
715
716
720
730
740
750
760
770
780

Fig. 7