

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 382 158**

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

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09780174 .0**
- 96 Fecha de presentación: **06.07.2009**
- 97 Número de publicación de la solicitud: **2301100**
- 97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.03.2011**

54 Título: **Procedimiento para la regulación de temperatura en un sistema de pilas de combustible y sistema de pilas de combustible**

30 Prioridad:
08.07.2008 DE 102008032156

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
05.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
05.06.2012

73 Titular/es:
**Siemens Aktiengesellschaft
Wittelsbacherplatz 2
80333 München , DE
Howaldtswerke-Deutsche Werft GmbH**

72 Inventor/es:
**HAEBERLE, Markus y
MUNDE, Robert**

74 Agente/Representante:
Carvajal y Urquijo, Isabel

ES 2 382 158 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la regulación de temperatura en un sistema de pilas de combustible y sistema de pilas de combustible.

5 La presente invención hace referencia a un procedimiento de regulación de temperatura en un sistema de pilas de combustible con al menos un módulo de pilas de combustible y un dispositivo refrigerador para enfriar el módulo de pilas de combustible, en el cual se hace circular el medio refrigerante por el módulo de pilas de combustible y un medio de procesamiento regula la temperatura del refrigerante a la salida del módulo de pilas de combustible. Además, la invención hace referencia a un sistema de pilas de combustible con al menos un módulo de pilas de combustible, un dispositivo refrigerador para conducir el medio refrigerante a través del módulo de pilas de combustible y un medio de procesamiento, que está previsto para regular la temperatura del medio refrigerante.

10 En una pila de combustible el hidrógeno (H₂) y el oxígeno (O₂) reaccionan en un electrolito bajo emisión de calor y energía eléctrica transformándose, en forma de subproducto, en agua. Para generar una potencia adecuada para grandes consumidores de corriente, se conectan en serie varias pilas de combustible y se agrupan en un módulo de pilas de combustible, por ejemplo apilando varias pilas de combustible planas.

15 El calor generado durante el proceso electroquímico se conduce en su mayor parte hacia un medio refrigerante, por ejemplo agua, que transcurre o circula como un flujo refrigerante a través de las pilas de combustible de un módulo de pilas de combustible. La cantidad de energía térmica o de calor producida por un módulo de pilas de combustible depende de la cantidad de energía eléctrica generada en éste, que a su vez depende del tamaño de la carga eléctrica que está acoplada al módulo de pilas de combustible. Cuanto más elevada es la carga eléctrica, tanto más calor se generará y la potencia refrigerante del flujo de refrigerante también deberá ser mayor para poder mantener las pilas de combustible en el módulo dentro de un rango de temperatura preestablecido.

20 Se sabe que para el enfriamiento de un módulo de pilas de combustible se debe medir y regular la temperatura del medio refrigerante a la salida del refrigerante del módulo de pilas de combustible, donde una variable de ajuste de la regulación es, por ejemplo, una posición de una válvula mezcladora en un enfriador.

25 Se conoce la utilización de un flujo de corriente a través de un módulo de pilas de combustible para corregir la regulación de la temperatura por las solicitudes US 3,595,699, US 6,186,254 y US 2006/172164 A1.

Es objeto de la presente invención, revelar un procedimiento para regular la temperatura en un sistema de pilas de combustible y un sistema de pilas de combustible, en los cuales se pueda mantener muy constante la temperatura de las pilas de combustible del módulo de pilas de combustible.

30 El objeto según el procedimiento de la presente invención se logra a través de un procedimiento del tipo mencionado, en el cual la temperatura del medio refrigerante se mide dentro del módulo de pilas de combustible y una variable de perturbación derivada del valor registrado junto con un cambio de la corriente eléctrica que circula por el módulo de pilas de combustible se incorporan al sistema de regulación como otra variable de perturbación. En caso de un aumento de la potencia del módulo de pilas de combustible se puede contrarrestar a tiempo un aumento de la temperatura en las pilas de combustible y la temperatura se puede mantener de manera confiable en un rango permitido.

35 La invención parte de la revelación de que, en caso de un aumento de carga en un módulo de pilas de combustible, con un sistema de regulación de la temperatura inicial, el aumento de la temperatura en las pilas de combustible solamente se puede detectar relativamente tarde en un circuito de regulación y por ello se aumenta relativamente tarde la potencia refrigerante del flujo de refrigerante en el módulo de pilas de combustible. De esta forma, según los cambios de carga, se producen picos de temperatura positivos o negativos que pueden encontrarse fuera del rango de temperatura deseado para el módulo de pilas de combustible.

40 Para elevar la velocidad reactiva del circuito de regulación, el sistema de regulación puede combinarse con un controlador, con el cual, por ejemplo, se controla la potencia refrigerante en relación a la carga en el módulo de pilas de combustible o a la corriente que circula por el módulo de pilas de combustible. El resultado es una combinación de regulación en función de la temperatura y mediante un controlador en función de la corriente del módulo de pilas de combustible. De esta manera se puede contrarrestar rápidamente una elevación de la temperatura del refrigerante al producirse un aumento de la potencia del módulo de pilas de combustible

45 Una reacción todavía más rápida contra un calentamiento indeseado del refrigerante en el módulo de pilas de combustible se puede lograr mediante la corrección de la regulación al cambiar la corriente eléctrica que circula por el módulo de pilas de combustible, denominado a continuación gradiente de corriente. En un gradiente de corriente pequeño, es decir en un cambio lento de la corriente eléctrica, la regulación se corrige levemente y en un cambio rápido de la corriente eléctrica, ésta se corrige con más intensidad. El gradiente de corriente se puede incorporar al

sistema de regulación por medio de un campo característico o una función matemática a modo de variable de perturbación, corrigiendo de esta manera el sistema de regulación. Se puede alcanzar una adaptación previsible de la capacidad de refrigeración, por medio de lo cual se puede lograr una reacción rápida de la potencia refrigerante sobre el productor de calor a pesar del tiempo concreto que necesitase el medio refrigerante para circular a través del módulo de pilas de combustible.

La invención es especialmente ventajosa para ser utilizada en un bloque de pilas de combustible en el cual las pilas de combustible planas, preferentemente rectangulares, se acomodan una sobre la otra formando un bloque. En un bloque de este tipo se puede construir el módulo de pilas de combustible con canales de medios, placas terminales, células de humectación y otros elementos. Como medio refrigerante se puede utilizar un líquido, preferentemente compuesto en su mayoría por agua.

La temperatura regulada es la temperatura del medio refrigerante a la salida del módulo de pilas de combustible. De esta manera, la potencia refrigerante del flujo de refrigerante en el módulo de pilas de combustible se puede medir de manera muy simple.

De manera ventajosa, el dispositivo refrigerador abarca un circuito de refrigerante con un enfriador y una válvula mezcladora, con la cual se ajusta una relación entre el medio refrigerante que circula por dentro del enfriador y el que circula junto al enfriador, donde la posición de la válvula mezcladora conforma una variable de ajuste del sistema de regulación. De esta manera se puede realizar de forma simple el ajuste de la temperatura inicial del medio refrigerante en una entrada del módulo de pilas de combustible y con ello también la capacidad de refrigeración. Si se conduce más refrigerante a través del enfriador, disminuye la temperatura inicial del medio de refrigeración y aumenta la capacidad de refrigeración, al tiempo que el productor de calor en el módulo de pilas de combustible se mantiene igual.

Una corrección simple y confiable de la regulación se puede lograr cuando el cambio de la corriente eléctrica que circula por el módulo de pilas de combustible se incorpora como variable de perturbación una variable, especialmente una variable lineal, de ajuste del sistema de regulación. La variable de ajuste, por ejemplo una posición de la válvula mezcladora, puede ser corregida en su ajuste de manera rápida y simple con la tecnología de control, de acuerdo al gradiente de corriente. Así, al aumentar el gradiente de corriente, también aumenta la posición correctora de la variable de ajuste de manera lineal. Con un gradiente de corriente estable, es decir con corriente que aumenta de manera uniforme a través del módulo de pilas de combustible, el desplazamiento corrector de la variable de ajuste puede mantenerse constante; y en una corriente constante, es decir en un gradiente de corriente ínfimo, se puede retraer nuevamente a cero. Se puede proceder de manera análoga en caso de un gradiente de corriente negativo.

Para evitar una oscilación del circuito de regulación, la corrección de la regulación se realiza acorde al objeto solamente dentro de un rango de una variable de ajuste del sistema de regulación que sea menor al rango de ajuste total disponible para un sistema de regulación común.

La temperatura del medio refrigerante se mide dentro del módulo de pilas de combustible y un valor de medición derivado de la variable de perturbación se incorpora al sistema de regulación. Para esto, el sistema de pilas de combustible contiene, de manera ventajosa, al menos un sensor en el módulo de pilas de combustible para determinar la temperatura dentro del módulo. Si, por ejemplo, la temperatura no respeta un rango de temperatura preestablecido, se genera una desviación adicional de la regulación, que se incorpora al sistema de regulación de manera adicional a la variable de perturbación proveniente del gradiente de corriente. Esta incorporación de variable de perturbación puede mantenerse durante todo el tiempo en que la temperatura medida dentro del módulo de pilas de combustible se encuentre fuera del rango de temperatura.

De manera acorde al objeto, la variable de perturbación es progresiva, de manera que, por ejemplo, al producirse una superación de la temperatura sobre el límite máximo del rango de temperatura, primero ocurre una suave desviación de la regulación, que aumenta progresivamente si la temperatura sigue aumentando.

De manera ventajosa, el dispositivo refrigerador posee un regulador del caudal volumétrico para ajustar la fuerza del flujo de refrigerante a través del módulo de pilas combustibles. El regulador del caudal volumétrico puede ser una válvula o una bomba de refrigerante cuya capacidad de bombeo sea ajustable. De esta manera, la temperatura puede calibrarse ajustando la capacidad de bombeo. Conforme al objeto, la fuerza del flujo de refrigerante se controla en función a la fuerza de la corriente eléctrica que circula a través del módulo de pilas combustibles, con lo cual, por ejemplo, se puede alcanzar una regulación anticipada ventajosa.

El sistema de pilas de combustible contiene al menos dos módulos de pilas de combustible. A través de cada módulo circula un flujo de refrigerante, de manera que la fuerza de todos los flujos de refrigerante se controla, de manera ventajosa, en función de la corriente máxima de cada uno de los módulos de pilas de combustible. La corriente del módulo que en ese momento sea la más fuerte, se utiliza para controlar la fuerza de todos los flujos de

refrigerante que circulan a través de los módulos de pilas de combustible, incluso a través de aquellos en los cuales la corriente del módulo, es decir la corriente que circula por el módulo de pilas de combustible, sea menor. Para esto, las corrientes del módulo se registran, acorde al objeto, de manera separada para que puedan ser comparadas. Como en una misma batería eléctrica, que puede ser la suma de todas las corrientes de módulos, el flujo de refrigerante es preferentemente alto, cuanto más tenga que refrigerarse el módulo de pilas de combustible, más debe utilizarse una corriente máxima ponderada para un control efectivo. La ponderación puede obtenerse de la cantidad de módulos de pilas de combustible refrigerados.

Si un flujo de refrigerante que circule por un módulo de pilas de combustible debe finalizarse, mientras que otro flujo de refrigerante que circule por otro módulo de pilas de combustible sigue circulando, es provechoso reducir la fuerza del flujo de refrigerante de manera independiente a la corriente del módulo, antes de que termine el otro flujo de refrigerante. De esta manera se puede evitar que se produzca un golpe de ariete a través del módulo de pilas combustible que suministra la corriente del módulo, que puede producir un daño en ese módulo de pilas de combustible.

Otra variante de la invención prevé una regulación de la diferencia de temperatura del medio refrigerante antes y después del módulo de pilas de combustible. Este sistema de regulación puede ser una regulación que suceda de manera paralela a la regulación de temperatura y tenga un efecto especialmente corrector. Acorde al objeto, una capacidad de bombeo de una bomba de refrigerante es una variable de ajuste del sistema de regulación. Mediante este sistema de regulación se puede regular la diferencia de temperatura, por ejemplo, en un rango de temperatura preestablecido. La diferencia de temperatura es una medida para la fuerza del flujo de refrigerante que circula a través del módulo de pilas de combustible o del flujo de todo el refrigerante que circula a través de todos los módulos de pilas de combustible. Utilizando la diferencia de temperatura como variable regulada se puede mantener el flujo de refrigerante en un rango especialmente provechoso. De esta forma se puede proteger el módulo de pilas de combustible y mantener un elevado coeficiente de rendimiento del módulo de pilas de combustible durante un largo periodo.

De manera ventajosa se regula la diferencia de temperatura con la ayuda de una curva característica sobre la corriente del módulo. De esta manera, la diferencia de temperatura nominal en corrientes bajas se puede regular en un valor bajo y en corrientes altas, en un valor alto, por ejemplo a 2° C en caso del 20% de una potencia del módulo máxima y a 10° C en caso del 100% de la potencia del módulo.

En varios módulos de pilas de combustible se puede utilizar la diferencia de temperatura entre una entrada a todos los módulos de pilas de combustible y una salida de todos los módulos de pilas de combustible. Acorde al objeto, se suministra al sistema de regulación la información acerca de cuántos módulos de pilas de combustible están siendo enfriados mediante el dispositivo refrigerador. Esto puede suceder mediante diferentes curvas características, dependiendo la cantidad de módulos de pilas de combustible que se encuentren en funcionamiento.

Acorde a la invención, las curvas características son constantes a partir de una potencia del 50% de la potencia máxima del sistema de pilas de combustible, especialmente a partir del 70% de su potencia.

El objeto según el sistema de pilas de combustible acorde a la invención se logra a través del sistema de pilas de combustible del tipo mencionado al principio, en el cual un medio de procesamiento está previsto para registrar la temperatura del refrigerante dentro del módulo de pilas de combustible e incorporar al sistema de regulación, como otra variable de perturbación, una variable de perturbación derivada del valor registrado junto con un cambio de la corriente eléctrica que circula por el módulo de pilas de combustible. Se puede reaccionar rápidamente frente a las fluctuaciones de temperatura dentro del módulo de pilas de combustible determinadas por los cambios en las cargas, de manera que las fluctuaciones se puedan mantener bajas. De manera ventajosa, un medio de procesamiento está previsto para controlar o regular las etapas del procedimiento descritas anteriormente.

La presente invención se explica con mayor detalle por medio de un ejemplo de realización que se representa en el dibujo.

La única figura del dibujo muestra un sistema de pilas de combustible 2 en una representación esquemática muy simplificada, con un primer módulo de pilas de combustible 4 y un segundo módulo de pilas de combustible 6, que juntos forman una batería de pilas de combustible. Ambos módulos de pilas de combustible 4, 6 están conectados eléctricamente con una carga no representada, por ejemplo un motor de un vehículo, al que los dos módulos de pilas de combustible suministran energía de propulsión mediante su corriente, donde dicho suministro es controlado por un medio de procesamiento 8.

El sistema de pilas de combustible 2 abarca además un dispositivo refrigerador 10 con un enfriador 12 y una bomba de refrigerante 14, que está prevista para bombear un medio refrigerante a través de un circuito de refrigerante 16. Un flujo de refrigerante en el circuito de refrigerante 16 está dividido de forma paralela entre los dos módulos de pilas de combustible 4,6 y circula por éstos en dos flujos de refrigerante separados, donde cada uno de los flujos de

refrigerante que circula por los módulos de pilas de combustible 4, 6 puede ser conectado o desconectado de forma separada, cada uno por medio una válvula 18, 20. El circuito de refrigerante 16 abarca además una válvula mezcladora 22, mediante la cual la parte del refrigerante que circula por el enfriador 12 puede ajustarse en el circuito de refrigerante.

5 La válvula mezcladora 22 es controlada por un medio de procesamiento, que preestablece para el ajuste de la válvula mezcladora 22 con un valor nominal 24 como variable de ajuste en un circuito de regulación. También la bomba de refrigerante 14 es controlada por un medio de procesamiento, que preestablece a la bomba de refrigerante 14 con un valor nominal 26 para su número de revoluciones como variable de ajuste en otro circuito de regulación. Además, las dos válvulas 18, 20 son activadas por parte de un medio de procesamiento 8, que fija su posición "abierta" o "cerrada". No están previstas posiciones intermedias.

15 Dentro de cada uno de los módulos de pilas de combustible 4,6 hay un sensor de temperatura 28, 30, que está unido al medio de procesamiento 8 por medio de tecnología de señalización, de manera que las temperaturas medidas por los sensores de temperatura 28, 30 puedan ser controladas por un medio de procesamiento 8. Además, hay otros dos sensores de temperatura 32, 34 fuera de los módulos de pilas de combustible 4, 6, ubicados en el circuito de refrigerante, con lo cual el sensor de temperatura 31 mide la temperatura inicial T_E del medio refrigerante a la entrada de la batería de pilas de combustiones y el sensor de temperatura 34 mide la temperatura de salida T_A a la salida de la batería de pilas de combustible. Con sensores de corriente análogos 36, 38, un medio de procesamiento 8 controla además de forma separada la corriente que circula a través de los dos módulos de pilas de combustible 4, 6.

20 Durante el funcionamiento, solamente el primer módulo de pilas de combustible 4 estaría funcionando, mientras que el segundo módulo de pilas de combustible 6 está desconectado y no genera ninguna corriente. La válvula 18 está abierta, la válvula 20 está cerrada y la carga eléctrica solo está conectada al primer módulo de pilas de combustible 4. La energía térmica o el calor generado en el módulo de pilas de combustible 4 se conduce en su mayor parte al medio refrigerante que circula por el módulo de pilas de combustible 4 y en una menor parte es irradiada hacia fuera por el módulo de pilas de combustible 4. El medio refrigerante calentado se conduce en parte a través del enfriador 12 y en parte a través de una derivación 40 en el enfriador 12, acorde con la posición de la válvula mezcladora 22. La fuerza del flujo de refrigerante en el circuito de refrigerante 16 y que circula a través del módulo de pilas de combustible 4 es preestablecida por el número de revoluciones de la bomba de refrigerante 14.

30 La temperatura de salida T_A del medio refrigerante en el sensor de temperatura 34 es controlada de manera constante por un medio de procesamiento y se utiliza como variable regulada para una regulación de la temperatura. Como valor de ajuste en esta regulación se utiliza el valor nominal 24 de la posición de la válvula mezcladora 22, y el valor previo para la regulación es una temperatura de 75°C como temperatura de salida T_A . Si ésta se ubica por encima de los 75°C , la válvula mezcladora 22 se abre en dirección al enfriador 12 y con ello se aumenta la proporción de refrigerante que circula por el enfriador 12, con lo cual desciende la temperatura inicial T_E y, en condiciones de funcionamiento estables, también la temperatura de salida T_A desciende tras unos instantes. Mediante la regulación de temperatura se regula indirectamente la potencia refrigerante del flujo de refrigerante en el módulo de pilas de combustible 4.

40 Si durante el funcionamiento aparece un cambio de la carga eléctrica, la variable de la corriente producida por el módulo de pilas de combustible 4 se modifica. De esta manera, también la producción de calor en el módulo de pilas de combustible 4 se ve influenciada, aumentando el calor con el aumento de la corriente. El módulo de pilas de combustible 4 se torna más caliente en su interior, se conduce calor al flujo de refrigerante, la potencia refrigerante aumenta y con ella la temperatura de salida T_A . Debido a la regulación, la válvula mezcladora 22 continúa estando abierta en dirección al enfriador 12, circula más refrigerante por el enfriador 12, allí se desprende más calor por parte del refrigerante, de manera que la temperatura inicial T_E puede mantenerse, por ejemplo, a 65°C de manera constante o, en una regulación continua, la temperatura inicial T_E desciende, para compensar la gran cantidad de calor producida en el módulo de pilas de combustible 4.

50 De manera adicional a este sistema de regulación, la potencia de refrigeración del flujo de refrigerante en el módulo de pilas de combustible es controlada por un medio de procesamiento 8 mediante un ajuste del valor nominal 26 del número de revoluciones de la bomba de refrigerante 14. El control se realiza en función a la corriente I_1 que circula por el módulo de pilas de combustible 4, de manera que, acorde a una conversión matemática o a una curva característica, el número de revoluciones es mayor con una corriente elevada I_1 y es menor con una corriente I_1 más baja. Mediante el mayor número de revoluciones de la bomba de refrigerante 14, el medio refrigerante circula más rápidamente por el módulo de pilas de combustible 4, el flujo de refrigerante es por lo tanto mayor, con lo cual, con una mayor potencia de refrigeración, se soporta una mayor producción de calor determinada por una producción mayor de corriente en el módulo de pilas de combustible 4.

En un aumento elevado de la potencia del módulo de pilas de combustible 4, a pesar de la regulación acorde a la corriente, se puede producir un considerable aumento de temperatura dentro del módulo de pilas de combustible 4, debido a la cantidad de energía calórica que se incrementa rápidamente. Para poder contrarrestar ese aumento de

temperatura, el cambio de la corriente eléctrica que circula por el módulo de pilas de combustible, es decir el gradiente de corriente, se utiliza como variable de corrección para el sistema de regulación descrito. De esta forma, la corriente I_1 que circula por el módulo de pilas de combustible 4 es controlada continuamente por parte de un medio de procesamiento 8 y se reconoce un gradiente de corriente. En caso de producirse un gradiente de corriente positivo, éste es incorporado de manera lineal al valor nominal 24 de la posición de la válvula mezcladora 24, transformado en un cambio del valor de ajuste. Si el gradiente de corriente positivo se duplica, también se duplica el cambio positivo del valor del ajuste y la válvula mezcladora 22 se abre el doble en dirección al enfriador 12. Si el gradiente de corriente es constante, por ejemplo porque la corriente I_1 aumenta continuamente de manera lineal, también es constante la variable de perturbación que es incorporada al sistema de regulación. Si el gradiente de corriente desaparece, también finaliza la incorporación de variable de perturbación al sistema de regulación.

Por lo tanto, la válvula mezcladora 22 se abre en dirección al enfriador 12, básicamente al mismo tiempo que se produce por ejemplo un gradiente de corriente positivo, de manera que la temperatura inicial T_E desciende al poco tiempo. De esta forma se contrarresta muy rápidamente un calentamiento del módulo de pilas de combustible 4, sin tener que esperar una reacción por parte de la temperatura de salida para utilizarla como variable regulada sobre el gradiente de corriente positivo. En caso de producirse un gradiente de corriente negativo, es decir una disminución de carga en el módulo de pilas de combustible 4, se puede proceder de forma análoga, teniendo en cuenta el otro signo de polaridad.

Si la temperatura T_1 aumenta por alguna razón en el módulo de pilas de combustible, por ejemplo por un gradiente de corriente positivo muy elevado, posicionándose por encima de un valor predeterminado, por ej. 85°C , esto es reconocido por un medio de procesamiento 8 que vigila continuamente la temperatura T_1 . Entonces, un medio de procesamiento 8 genera una desviación de la regulación que es incorporada a la variable de ajuste como variable de perturbación, es decir al valor nominal 24 de la posición de la válvula mezcladora 22. Esta incorporación es una incorporación adicional a aquella determinada por el gradiente de corriente. Entonces, la válvula mezcladora 22 se abre más que lo que está preestablecido por la regulación de temperatura y una eventual incorporación por el gradiente de corriente. Se puede proceder de manera análoga con el signo de polaridad contrario de la variable de perturbación, en caso de una temperatura T_1 en el módulo de pilas de combustible 4 que esté por debajo de un valor predeterminado.

Además del monitoreo del número de revoluciones de la bomba de refrigerante 14, se puede regular el número de revoluciones. Como variable regulada puede utilizarse la diferencia de temperatura entre la temperatura de salida T_A y la temperatura inicial T_E . Pero en este caso es ventajoso cuando esté previsto un rango de temperatura de la variable regulada dentro del cual se aplique la regulación. El rango puede ir, por ejemplo, de 9°C a 12°C , o puede ser incluso menor, de entre 10°C y 11°C . Solamente cuando la diferencia de temperatura aumenta sobre un valor predeterminado, por ejemplo por encima de los 11°C , el sistema de regulación puede comenzar con una regulación correspondiente del número de revoluciones de la bomba de refrigerante 14. Naturalmente, también es posible preestablecer un valor más preciso para la diferencia de temperatura pretendida, por ejemplo $10,5^\circ\text{C}$, y bloquear el controlador mediante una regulación continua de la temperatura. Según la cantidad de módulos de pilas de combustible que se encuentre en funcionamiento 2, 4 se pueden preestablecer diferentes valores límite.

Este sistema de regulación bloquea el controlador del número de revoluciones por medio de la corriente I_1 y está previsto como un ajuste de corrección que regule la diferencia de temperatura, por ejemplo en un rango predeterminado. Si la diferencia de temperatura supera el valor nominal o el valor límite superior del rango libre de regulación, entonces aumenta el número de revoluciones de la bomba de refrigerante 14. De manera análoga, el número de revoluciones disminuye al producirse una diferencia de temperatura que se encuentre por debajo del valor nominal o por debajo del límite inferior del rango libre de regulación.

En un funcionamiento con dos módulos de pilas de combustible 4, 6, el controlador descrito y las regulaciones pueden producirse de la misma forma para los dos módulos de pilas de combustible 4, 6.

En una conexión del segundo módulo de pilas de combustible 6 al primer módulo de pilas de combustible 4, se abre la segunda válvula 20 y con ello se genera un flujo de refrigerante adicional, que es conducido a través del segundo módulo de pilas de combustible 6. En un número de revoluciones constante de la bomba de refrigerante 14, el flujo total de refrigerante del circuito de refrigerante 16 se reparte entre los dos módulos de pilas de combustible 4, 6, de manera que el módulo de pilas de combustible 4 que todavía soporta la corriente completa es menos refrigerado. Para contrarrestar un aumento de la temperatura en el módulo de pilas de combustible 4 producido por lo mencionado, el control del número de revoluciones puede realizarse en función al número de módulos de pilas de combustible 4, 6 refrigerados.

Tras aproximadamente tres minutos de tiempo de arranque, el segundo módulo de pilas de combustible 6 toma una parte de la carga eléctrica, de manera que la corriente que circula por el primer módulo de pilas de combustible 4 disminuye. La carga eléctrica se reparte ahora, por ejemplo, de manera homogénea entre los dos módulos de pilas de combustible 4, 6. Existe ahora la posibilidad de realizar el control del número de revoluciones de la bomba de

refrigerante 14 en función a la corriente de la batería, es decir, la corriente total que circula por todos los módulos de pilas de combustible 4,6.

En un controlador de este tipo, sin embargo, no se tiene en cuenta que la potencia eléctrica o la corriente que circula por los módulos de pilas de combustible 4, 6 también pueda repartirse de forma desigual, de manera que uno de los módulos de pilas de combustible 4, 6 pueda tener una mayor necesidad de potencia de refrigeración que el otro. Como las dos válvulas 18, 20 están abiertas, el flujo de refrigerante total del circuito de refrigerante 16 se reparte de manera homogénea en los dos flujos de refrigerante que circulan por los módulos de pilas de combustible 4, 6. Si, por ejemplo, la distribución de la carga eléctrica es modificada por parte de un medio de procesamiento 8, pasando de una distribución homogénea entre los módulos de pilas de combustible 4, 6 a una distribución desigual, la fuerza del flujo de refrigerante que circula por ese módulo de pilas de combustible 4, 6 no se modifica, a pesar de que allí se produce más calor. Debido a que en el otro módulo de pilas de combustible 4, 6 se produce menos calor, el cambio de la distribución de corriente tampoco puede ser detectado, o solamente puede ser detectado de manera insuficiente, a través de un cambio de la temperatura inicial T_A o una diferencia de temperatura entre la temperatura inicial T_A y la temperatura de salida T_E .

Para evitar esta desventaja, el número de revoluciones de la bomba de refrigerante 14 se controla en función de la corriente máxima I_1 , I_2 que circula por los módulos de pilas de combustible 4, 6. Si, por ejemplo, el módulo de pilas de combustible 4 soporta la mayor carga eléctrica, el número de revoluciones depende de su corriente I_1 y es independiente de la corriente I_2 que circula por el segundo módulo de pilas de combustible 6. El otro módulo de pilas de combustible 6 que carga menos corriente es más refrigerado de lo necesario, pero esto es tolerable.

Sin embargo, un control del número de revoluciones de la bomba de refrigerante 14 de ese tipo puede provocar que la diferencia de temperatura descienda mucho en dirección al sensor de temperatura 34 por la afluencia de refrigerante relativamente frío que provenga del módulo de pilas de combustible 4 que carga menos corriente. La consecuencia sería una regulación de corrección del número de revoluciones de la bomba de refrigerante 14, de manera que la potencia de refrigeración desciende en ambos módulos de pilas de combustible 4, 6 y que el módulo de pilas de combustible 4 que carga con la mayor corriente sería menos refrigerado. Para evitar este efecto, o para que sea leve, se incluye en la regulación de corrección dependiente de la temperatura la información sobre cuántos módulos de pilas de combustible 4, 6 están siendo refrigerados en ese momento por el dispositivo refrigerador 10. En el caso de varios módulos de pilas de combustible 4, 6, el rango libre de regulación puede extenderse, por ejemplo, hacia abajo, de manera que la regulación de corrección tampoco intervenga con una diferencia de temperatura escasa.

Si un módulo de pilas de combustible 4, 6 se desconecta, por ejemplo el primer módulo de pilas de combustible 4, mientras que el otro módulo de pilas de combustible 6 sigue funcionando, éste continúa siendo refrigerado después de la desconexión de la corriente eléctrica del módulo de pilas de combustible 4, para extraer el calor residual que todavía se encuentre en el módulo de pilas de combustible 4. Después se cierra la válvula correspondiente 18 y el flujo de refrigerante que circule por el módulo de pilas de combustible 4 queda detenido. El flujo de refrigerante completo se conduce por el módulo de pilas de combustible 6 que carga corriente. Este procedimiento no es perjudicial para realizar un enfriamiento, pero puede serlo en algunos casos para la durabilidad y el grado de efectividad del módulo de pilas de combustible 6. Es por ello que debe evitarse un golpe de ariete de ese tipo. Como la potencia de refrigeración de una bomba de corriente continua por lo general se puede achicar solo lentamente, el número de revoluciones de la bomba de refrigerante 14 ya es reducido por un medio de procesamiento 8 en un periodo anterior al cierre de la válvula 18, es decir antes de que se detenga el flujo de refrigerante que circula por el módulo de pilas de combustible 4, teniendo en cuenta la desconexión del módulo de pilas de combustible 4. Esta reducción se realiza acorde al objeto justo después de un determinado espacio de tiempo, que está previsto para la refrigeración posterior y que comienza después de la desconexión del módulo de pilas de combustible 4 respecto a la carga eléctrica. Justamente después de que termine la reducción del número de revoluciones de la bomba de refrigerante 14, se cierra la válvula 18 y todo el flujo de refrigerante se conduce a través del segundo módulo de pilas de combustible 6.

En el ejemplo de realización representado se explicaron los pasos del proceso para solo dos módulos de pilas de combustible 4, 6. Naturalmente, éstos se pueden aplicar de la misma forma en un sistema de pilas de combustible con más módulos de pilas de combustible, que pueden hacerse funcionar de manera individual, en un grupo, o todos simultáneamente.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de regulación de temperatura en un sistema de pilas de combustible (2) con al menos un módulo de pilas de combustible (4, 6) y un dispositivo refrigerador (10) para enfriar el módulo de pilas de combustible (4, 6), en el cual se hace circular medio refrigerante por el módulo de pilas de combustible (4,6) y un medio de procesamiento (8) regula la temperatura del refrigerante a la salida del módulo de pilas de combustible (4, 6); caracterizado porque la temperatura del medio refrigerante es registrada dentro del módulo de pilas de combustible (4, 6) y porque se incorpora al sistema de regulación, como otra variable de perturbación, una variable de perturbación derivada del valor registrado junto con un cambio de la corriente eléctrica (I_1 , I_2) que circula por el módulo de pilas de combustible (4, 6).
- 10 2. Procedimiento acorde a la reivindicación 1, caracterizado porque el dispositivo refrigerador (10) abarca un circuito de refrigerante (16) con un enfriador (12) y una válvula mezcladora (22), con la cual se ajusta una relación entre el medio refrigerante que circula por dentro del enfriador (12) y el que circula junto al enfriador (12), donde la posición de la válvula mezcladora (22) conforma una variable de ajuste del sistema de regulación.
- 15 3. Procedimiento acorde a una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el cambio de la corriente eléctrica que circula a través del módulo de pilas de combustible (4, 6) se incorpora al sistema de regulación como variable de perturbación.
4. Procedimiento acorde a una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la temperatura se regula por medio del ajuste de una potencia de bombeo de una bomba de refrigerante (14).
- 20 5. Procedimiento acorde a una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la fuerza del flujo de refrigerante es controlada en función a la fuerza de la corriente eléctrica (I_1 , I_2) que circula por el módulo de pilas de combustible (4, 6).
- 25 6. Procedimiento acorde a una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el sistema de pilas de combustible (2) presenta al menos dos módulos de pilas de combustible (4, 6) por los cuales circula un flujo de refrigerante y porque la fuerza de todos los flujos de refrigerante es controlada en función a la corriente máxima (I_1 , I_2) de cada uno de los módulos de pilas de combustible (4, 6).
7. Procedimiento acorde a la reivindicación 6, caracterizado porque la fuerza del flujo de refrigerante que circula por un módulo de pilas de combustible (4, 6) que suministra una corriente de módulo, se reduce de manera independiente a la corriente del módulo, antes de que un flujo de refrigerante sea detenido por otro módulo de pilas de combustible (4, 6).
- 30 8. Procedimiento acorde a una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por una regulación de la diferencia de temperatura del medio refrigerante realizada antes y después del módulo de pilas de combustible (4, 6).
9. Procedimiento acorde a la reivindicación 8, caracterizado porque en la regulación de corrección se incluye la cantidad de módulos de pilas de combustible (4, 6) que están siendo refrigerados en el momento por el dispositivo refrigerador (10).
- 35 10. Sistema de pilas de combustible (2) con al menos un módulo de pilas de combustible (4, 6), un dispositivo refrigerador (10) para conducir el medio refrigerante a través del módulo de pilas de combustible (4, 6) y con un medio de procesamiento (8) que está previsto para regular la temperatura del refrigerante a la salida del módulo de pilas de combustible (4, 6), caracterizado porque un medio de procesamiento (8) está previsto para registrar la temperatura del medio refrigerante dentro del módulo de pilas de combustible (4, 6) e incorporar al sistema de regulación, como otra variable de perturbación, una variable de perturbación derivada del valor registrado junto con un cambio de la corriente eléctrica (I_1 , I_2) que circula por el módulo de pilas de combustible (4, 6).
- 40

