

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 541 152**

51 Int. Cl.:

H01M 8/06 (2006.01)

H01M 16/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.06.2009 E 09007887 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2015 EP 2141762**

54 Título: **Control para reformador, pila de combustible y sistema de gestión de batería en un grupo electrógeno estacionario**

30 Prioridad:

01.07.2008 US 166133

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

16.07.2015

73 Titular/es:

**DOOSAN FUEL CELL AMERICA, INC. (100.0%)
400 Perimeter Center, Terrace, Suite 750
Atlanta, GA 30346, US**

72 Inventor/es:

**EVANS, CRAIG;
ERNST, STEVE y
REGE, EVAN**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 541 152 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

Control para reformador, pila de combustible y sistema de gestión de batería en un grupo electrógeno estacionario

Antecedentes y sumario

5 La electricidad puede generarse en grupos electrógenos estacionarios a partir de combustible sin tratar enriquecido con hidrógeno tras su oxidación en un apilamiento de células de combustible en el que una pluralidad de células de combustible están empaquetadas entre sí. Los sistemas de control que monitorizan el flujo a través de y de salida de reformadores y apilamientos de células de combustible pueden facilitar la gestión del grupo electrógeno durante fluctuaciones de la potencia disponible, por ejemplo pueden emplearse sistemas de acumulador en forma de baterías y/o supercondensadores para proteger los componentes del grupo electrógeno de tales transitorios.

10 Varios documentos de la técnica anterior se refieren a una variedad de métodos para controlar un sistema de célula de combustible de tipo genérico. El documento US 6.495.277 B1 da a conocer un sistema de generación eléctrica que incorpora un apilamiento de células de combustible, un reformador y una batería. La salida del apilamiento de células de combustible se regula basándose en diferentes variables para impedir que el apilamiento de células de combustible suministre una potencia de salida mayor que la nominal. El documento US 2002/0046889 A1 se refiere a un sistema de célula de combustible para un automóvil con un apilamiento de células de combustible, un reformador y una batería, en el que la cantidad de combustible sin tratar y oxígeno al reformador se controla de manera que puede reducirse la cantidad de carbono depositado y acumulado en el catalizador de reformado. El documento US 2007/0190380 A1 da a conocer un sistema de célula de combustible con un apilamiento de células de combustible, un reformador y una batería, en el que la tasa de introducción de combustible responde a la presión de hidrógeno de salida del reformador.

15 El mantenimiento del flujo de electrones a través de un circuito de célula de combustible puede conseguirse garantizando una presencia continuada de hidrógeno en el lado de ánodo en el que se disocia en protones y electrones en presencia de un catalizador de ánodo. En ausencia de hidrógeno, la integridad de la célula de combustible puede verse comprometida. Por tanto, en un enfoque de la gestión de grupos electrógenos, se garantiza un gran cantidad de hidrógeno en el ánodo mediante el uso de grandes apilamientos de células de combustible. Sin embargo, los inventores han reconocido en el presente documento que esto puede generar una necesidad de grandes cantidades de combustible y grandes zonas correspondientes para alojar el combustible.

25 Puesto que la potencia, y por tanto la corriente, suministrada por una célula de combustible tiene impacto sobre la medida de las pérdidas en las que se incurre, y por consiguiente la eficiencia de la célula de combustible, también es deseable mantener la potencia de salida de un apilamiento de células de combustible. De manera adicional, las pérdidas por activación de célula de combustible pueden contribuir a disminuciones en la tensión de salida. Por tanto, en otro enfoque de la gestión de grupos electrógenos, se incorpora un sistema de control para ajustar la capacidad de reformador en respuesta a la corriente suministrada por el apilamiento de células de combustible. Los ajustes en la capacidad de reformador por la variación de combustible sin tratar de entrada y cantidades de vapor permiten ajustes en el nivel de combustible enriquecido con hidrógeno que entra en el apilamiento de células de combustible. Sin embargo, los inventores en el presente documento también han reconocido una desventaja con un enfoque de este tipo. Específicamente, el tiempo de respuesta implicado en el ajuste de los caudales de agua y combustible del reformador, el ajuste de las velocidades de soplador de vapor de aire y la regulación de los niveles de temperatura del sistema, a menudo puede ser más largo de lo deseado. Tiempos de respuesta tardíos pueden conducir a un daño de componentes debido a una insuficiencia temporal en los niveles de hidrógeno en el lado de ánodo de la célula de combustible, incluso si se utilizan cantidades suficientemente grandes de almacenamiento de combustible. El daño puede verse agravado en caso de fluctuaciones transitorias.

30 En un enfoque, los problemas anteriores pueden abordarse mediante un método para hacer funcionar un sistema de generación eléctrica que incluye una célula de combustible acoplada a un acumulador eléctrico, en el que la célula de combustible está acoplada además a un reformador de vapor. El método puede comprender ajustar el funcionamiento del reformador basándose en una tensión afectada por el acumulador eléctrico mientras se mantiene una relación vapor a carbono del reformador para controlar la carga del acumulador eléctrico por la célula de combustible. Según la invención, el método comprende compensar el aumento de demanda de potencia proporcionando corriente desde el acumulador eléctrico antes de que aumente la corriente en la célula de combustible por el ajuste del reformador.

35 De este modo, ajustando el reformador en respuesta a la tensión, el reformador puede guiar el sistema en respuesta a perturbaciones de tensión. Por tanto, puede usarse un acumulador eléctrico para compensar la demanda durante condiciones transitorias (por ejemplo, para que reaccionen dispositivos auxiliares tales como bombas, sopladores, etc.), en lugar de depender de un gran acumulador de combustible, por ejemplo, para reducir la probabilidad de que se dé una insuficiencia de combustible en el ánodo.

Debe entenderse que la descripción anterior se proporciona para introducir de forma simplificada una selección de conceptos que se describen adicionalmente en la descripción detallada. No pretende identificar características clave o esenciales del contenido reivindicado, cuyo alcance se define únicamente por las reivindicaciones que siguen a la descripción detallada. Además, el contenido reivindicado no se limita a implementaciones que solucionan cualquier desventaja indicada anteriormente o en cualquier parte de esta divulgación.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra un diagrama esquemático de una realización de un grupo electrógeno estacionario.

La figura 2 muestra un diagrama esquemático de una realización de un sistema de control de grupo electrógeno estacionario según la presente divulgación.

10 La figura 3 muestra una representación esquemática detallada de la realización del sistema de control de grupo electrógeno estacionario ilustrado en la figura 2.

La figura 4 muestra, a modo de diagrama de flujo, una realización de un método para controlar un grupo electrógeno estacionario según la presente divulgación.

15 La figura 5 muestra, a modo de diagrama de flujo, una descripción simplificada de la realización de la rutina de sistema de control ilustrada en las figuras 3-4.

Descripción detallada

20 La figura 1 muestra una realización de un grupo 100 electrógeno estacionario (denominado en adelante en el presente documento "grupo 100 electrógeno") que genera energía eléctrica a partir de un combustible sin tratar enriquecido con hidrógeno usando tecnología de célula de combustible. El grupo electrógeno estacionario comprende un conjunto 102 de apilamiento de células de combustible que se comunica con un convertidor 104 CC-CC antes de transportar energía eléctrica al bus 106 de CC. El convertidor 104 CC-CC puede comprender una parte de un sistema de control tal como se describe en la presente divulgación.

25 El grupo 100 electrógeno comprende un sistema 108 de acumulador, ejemplos del cual incluyen, pero no se limitan a, un acumulador de tensión/corriente electrónico, una batería o grupo de baterías, supercondensadores o combinaciones de los mismos. El resto 110 del grupo incluye los componentes, estructuras y sistemas restantes que comprende el grupo electrógeno tal como equipos necesarios para el funcionamiento seguro y la coordinación técnica de todas las partes de un grupo electrógeno. Los ejemplos de esto incluyen, pero no se limitan a, transformadores principales y auxiliares, grúas y turbinas. El bus 106 de CC alimenta al inversor 112 que convierte la entrada de potencia de CC generada por el grupo 100 electrógeno en salida de potencia de CA para su posterior transmisión. En una realización del grupo 100 electrógeno, el sistema 108 de acumulador puede cargarse por la entrada de potencia de CA procedente del inversor 112 si la potencia generada por el conjunto 102 de apilamiento de células de combustible no es suficiente.

35 Puesto que el sistema de control de grupo electrógeno descrito en la presente divulgación puede estar configurado fundamentalmente para mantener una tensión de batería de sistema predeterminada, puede responder a fluctuaciones en la tensión de batería de sistema regulando de manera apropiada un componente, o diversos componentes del grupo electrógeno, de manera coordinada de modo que la tensión de batería se restaure al valor deseado. En caso de falta de respuesta de un componente (o múltiples componentes) del grupo electrógeno a la corrección según se determina por el controlador, la realización mencionada anteriormente permite al inversor usar la entrada de potencia de CA, por ejemplo procedente de una red de distribución, para cargar la batería de sistema y devolverla al valor deseado.

45 La figura 2 representa detalles adicionales de un sistema 200 de control de grupo electrógeno, que incluye el grupo 100 electrógeno en una realización. El sistema puede incluir un conjunto 102 de apilamiento de células de combustible, que comprende un suministro 202 de combustible sin tratar que alimenta a un reformador 210 de vapor. La realización descrita en el presente documento puede usarse con diversos combustibles de hidrocarburos sin tratar adecuados. Los combustibles sin tratar adecuados pueden incluir, pero no se limitan a, biodiésel, aceites vegetales, gas natural, etc. Por consiguiente, el reformador 210 puede estar configurado para formar gas hidrógeno a partir de un hidrocarburo sin tratar usando vapor.

50 El sistema puede incluir además un dispositivo 204 de control del flujo de combustible que ajusta el flujo de combustible sin tratar a través del transmisor 206 de flujo al interior del reformador 210 de vapor. El dispositivo de control del flujo de combustible puede incluir un componente o diversos componentes adecuados. Los ejemplos incluyen, pero no se limitan a, una válvula de combustible (tal como se representa). La tasa de flujo puede monitorizarse mediante un medidor 208 de flujo de combustible y comunicarse al controlador 230 electrónico. Los

ajustes al flujo de combustible pueden controlarse mediante el controlador 230 electrónico basándose en entradas recibidas de una multitud de componentes del grupo electrógeno, tal como basándose en un caudal de combustible deseado y un flujo de combustible medido y tal como se describe en más detalle en el presente documento.

5 El vapor usado para el enriquecimiento con hidrógeno en el reformador 210 se genera a partir de un suministro 212 de agua. El dispositivo 214 de control del flujo de agua ajusta el flujo de vapor o agua a través del transmisor 216 de flujo al interior del reformador 210 de vapor. El dispositivo de control del flujo de agua puede incluir diversos componentes adecuados. Los ejemplos incluyen, pero no se limitan a, un soplador, una bomba de alimentación de agua (tal como se representa) o combinaciones de los mismos. La tasa de flujo puede monitorizarse mediante un medidor 218 de flujo de agua y comunicarse al controlador 230 electrónico. Los ajustes al flujo de agua también
10 pueden controlarse mediante el controlador 230 electrónico basándose en diversas condiciones de funcionamiento, tal como basándose en el flujo de agua deseado y el flujo de agua monitorizado y tal como se describe en más detalle en el presente documento.

15 El combustible enriquecido con hidrógeno generado por el reformador 210 de vapor se transfiere posteriormente al apilamiento 220 de células de combustible. El apilamiento 220 de células de combustible puede incluir una pluralidad de células de combustible acopladas entre sí, y usa aire proporcionado por el suministro 222 de aire para la oxidación del combustible enriquecido con hidrógeno. El dispositivo 224 de control del flujo de aire controla el flujo de aire al interior del apilamiento 220 de células de combustible. El dispositivo 224 de control del flujo de aire puede incluir diversos componentes adecuados. Los ejemplos incluyen, pero no se limitan a, un soplador (tal como se representa). Los ajustes al flujo de aire también pueden controlarse mediante el controlador 230 electrónico en
20 respuesta a diversas condiciones de funcionamiento, incluyendo un flujo de aire deseado y un flujo de aire medido. La generación de corriente de carga a partir del apilamiento 220 de células de combustible produce de manera adicional gases de escape de combustible y aire desprovisto de oxígeno, tal como se muestra.

25 La corriente de carga se mide mediante un dispositivo 226 de medición de corriente antes de su comunicación con el convertidor 104 CC-CC. El convertidor CC-CC puede incluir un límite de corriente máxima, más allá del cual el convertidor entra en un modo de control de corriente. Además, el convertidor CC-CC puede tener un límite de tensión establecido, tal como 53 V en un ejemplo, por debajo del cual la tensión de salida puede fluctuar.

30 Tras el paso a través del convertidor CC-CC, la potencia generada por el grupo 100 electrógeno se transfiere al bus 106 de CC, desde donde puede transmitirse posteriormente. Un sistema 108 de acumulador, tal como se describe en la figura 1, en el presente documento representado como, y por tanto denominado, una batería, se incluye en el grupo electrógeno. Aunque en este ejemplo pueden usarse baterías de tipo de ácido, el sistema de acumulador puede estar compuesto por otros tipos de baterías, en diversas combinaciones. Un dispositivo 228 de medición de tensión de batería puede determinar la tensión de la batería acumuladora y enviar la información al controlador 230 electrónico.

35 El controlador también puede recibir entradas en relación con la corriente de carga suministrada por el apilamiento de células de combustible desde el dispositivo 226 de medición de corriente, así como entradas en relación con la corriente 232 de bus desde un dispositivo 234 de medición de corriente de bus. El controlador puede realizar ajustes a los caudales de aire, combustible sin tratar y agua, o bien independientemente o bien en combinación, basándose en la totalidad de datos recibidos. Pueden usarse diversos métodos, o bien independientemente o bien en combinación, para controlar el funcionamiento del apilamiento de células de combustible, tal como se describe en las
40 figuras 3-5, por ejemplo.

45 Específicamente, la figura 3 muestra una realización de un sistema 300 de control para regular la generación de potencia en el grupo 100 electrógeno según la presente divulgación. En un aspecto de la realización, el sistema de control puede usarse para controlar el funcionamiento y la salida de un apilamiento de células de combustible en un grupo electrógeno estacionario que genera potencia usando tecnología de célula de combustible. Se representan las entradas constituyentes que alimentan al sistema de control y los correspondientes componentes de salida afectados.

50 En 350 se muestra una primera rutina de control que controla el funcionamiento del reformador en respuesta a la tensión de batería usando un primer controlador 310. En particular, puede obtenerse una indicación de la tensión 302 de batería del dispositivo 228 de medición de tensión. La tensión 304 de batería medida se compara con un valor 306 de referencia de tensión predeterminado. Por ejemplo, en un aspecto de la rutina, se ha determinado por los inventores que la tensión deseada de la batería del sistema, al igual que la tensión de bus, es de 53 V (por ejemplo para el valor 306 de referencia de tensión). El error, o la desviación, de la tensión de batería medida con respecto al valor 306 de referencia se alimenta a la tabla 308 de consulta que tiene una función de ganancia no

55 lineal. En un ejemplo, la función de ganancia no lineal puede tener la forma $E = \frac{1}{2} [\alpha e^{ax} - \gamma e^{bx}]$ donde x es el error con respecto al valor 306 de referencia, y E es el error ajustado calculado a partir del error medido x tras la estimación mediante la tabla 308 de consulta. Las variables restantes pueden ajustarse basándose en el rendimiento

deseado y pruebas experimentales. Aunque este ejemplo muestra el uso de la función \sinh , pueden usarse diversas otras funciones no lineales, tales como una ganancia bilineal, etc. La salida de la tabla de consulta se alimenta al controlador 310 indicado gráficamente con K1. En un ejemplo, el controlador K1 puede incluir un controlador 310 proporcional-integral-derivativo (denominado a continuación en el presente documento "controlador PID K1") integrado en el sistema 230 de control electrónico para generar de manera apropiada una señal de mando en respuesta al error que, en este ejemplo, ajusta el dispositivo 214 de control del flujo de agua. Aunque este ejemplo muestra un controlador PID, pueden usarse diversas otras estructuras de control, incluyendo controladores no lineales, controladores de ganancia-planificación, controladores adaptativos, controladores de estado-espacio, etc. De este modo, se proporciona un control de retroalimentación de la tensión de batería, en el que puede ajustarse la respuesta del controlador variando las ganancias del controlador PID para conseguir una respuesta deseada para controlar los errores provocados por alteraciones o cambios en el valor de referencia de tensión.

Puede proporcionarse un control de anticipación adicional en la rutina 350 basándose en la corriente de bus medida para anticiparse mejor a diversas interacciones del sistema y mantener con más precisión la tensión deseada de la batería del sistema (o tensión de bus) para por ejemplo 53 V, tal como se describió anteriormente. La corriente 232 de bus se mide mediante el dispositivo 234 de medición de corriente de bus y se analiza con respecto a la tabla 316 de consulta. Basándose en la desviación 314 de esta corriente con respecto a un valor de referencia de corriente deseado, y la entrada 312 desde el controlador 310 K1, pueden realizarse ajustes apropiados en el caudal de agua regulando el dispositivo 214 de control del flujo de agua. Esto permite una regulación de la tasa de vapor que fluye al interior del reformador, modificando así la capacidad del reformador. Por tanto, una combinación de un bucle de control de retroalimentación en respuesta a la tensión de batería y un mecanismo de control de anticipación en respuesta a la corriente de bus lleva a ajustes en el funcionamiento del reformador 210 para restablecer por consiguiente la tensión de batería de sistema para que esté más cerca del valor deseado, tal como se describe en más detalle en el presente documento.

En 360 se muestra una segunda rutina de control, que funciona en paralelo a la primera rutina 350 de control. El caudal 320 de agua, específicamente la tasa de flujo de vapor al interior del reformador según se determina por el medidor 218 de flujo de agua, y el caudal de combustible, específicamente la tasa de flujo de combustible al interior del reformador según se determina por el medidor 208 de flujo de combustible, proporcionan datos de modo que el controlador puede estimar una relación 322 vapor a carbono que indica la relación de vapor a combustible sin tratar (hidrocarburo). Si se identifica una desviación en la relación 324 vapor a carbono estimada con respecto al valor 326 de referencia de la relación vapor a carbono, el error se alimenta a la tabla 328 de consulta que también tiene una función de ganancia no lineal. En un ejemplo, la función de ganancia no lineal puede tener la forma $E =$

$$\frac{1}{2} [ae^{ax} - ye^{-bx}]$$

donde x es el error con respecto al valor 326 de referencia, y E es el error ajustado calculado a partir del error medido x tras la estimación mediante la tabla 328 de consulta. Las variables restantes pueden ajustarse basándose en el rendimiento deseado y pruebas experimentales. Aunque este ejemplo muestra el uso de la función \sinh , pueden usarse diversas otras funciones no lineales, tales como una ganancia bilineal, etc. La salida de la tabla de consulta se alimenta al controlador 330 indicado gráficamente con K2. En un ejemplo, el controlador K2 también puede incluir un controlador 330 PID (denominado a continuación en el presente documento "controlador PID K2") integrado en el sistema 230 de control electrónico para generar de manera apropiada una señal de mando en respuesta al error que, en este ejemplo, ajusta el dispositivo 204 de control del flujo de combustible. Aunque este ejemplo muestra un controlador PID, pueden usarse diversas otras estructuras de control, incluyendo controladores no lineales, controladores de ganancia-planificación, controladores adaptativos, controladores de estado-espacio, etc. De este modo, se proporciona un control de retroalimentación de la relación vapor a carbono, en el que la respuesta del controlador puede ajustarse variando las ganancias del controlador PID para conseguir una respuesta deseada para controlar los errores provocados por alteraciones o cambios en la relación vapor a carbono deseada.

En la rutina 360 puede proporcionarse un control de anticipación adicional mediante la corriente de bus medida para anticiparse mejor a diversas interacciones del sistema y mantener con más precisión la tensión deseada de la batería del sistema (o tensión de bus), para por ejemplo 53 V, tal como se describió anteriormente. La corriente 232 de bus, según se determina por el dispositivo 234 de medición de corriente de bus, se alimenta a la tabla 316 de consulta. Basándose en la desviación 314 de esta corriente con respecto a un valor de referencia de corriente deseado, y la entrada 332 desde el controlador 330 K2, pueden realizarse ajustes adicionales en el caudal de combustible ajustando de manera apropiada el dispositivo 204 de control del flujo de combustible. Por tanto, una combinación de un bucle de control de retroalimentación en respuesta a la relación vapor a carbono y un mecanismo de control de anticipación en respuesta a la corriente de bus lleva a ajustes en el funcionamiento del reformador 210 y por consiguiente a un funcionamiento del apilamiento 220 de células de combustible para restablecer la relación vapor a carbono deseada. De este modo, las rutinas 350 y 360 de control pueden proporcionar un control de retroalimentación coordinado de la tensión de batería y la relación vapor a carbono en respuesta a la retroalimentación de los datos de funcionamiento de apilamiento de células de combustible. Además, pueden proporcionar un control de anticipación en respuesta a la corriente de bus. De este modo, el sistema de control permite ajustar la capacidad del reformador según la capacidad de apilamiento de células de combustible y la demanda del sistema usando ventajosamente el sistema 108 de acumulador eléctrico.

La figura 3 ilustra además una tercera rutina 370 de control que funciona con una estructura de anticipación en respuesta a la corriente de carga extraída en el grupo 100 electrógeno. Específicamente, la corriente 340 de carga suministrada por el apilamiento 220 de células de combustible se mide mediante el dispositivo 226 de medición de corriente y se alimenta a la tabla 342 de consulta. La tabla 342 de consulta también puede recibir datos introducidos desde el medidor 208 de flujo de combustible en relación con el caudal de combustible. Basándose en los datos recibidos, la tabla de consulta analiza y asigna un límite máximo a la corriente que puede suministrarse por el apilamiento de células de combustible. Este valor asignado se alimenta entonces al convertidor CC-CC, que, como se indicó anteriormente, funciona en un modo de control de corriente para mantener la corriente por debajo de este valor máximo.

De manera adicional, puede usarse un control de anticipación aún adicional para ajustar el dispositivo 224 de control del flujo de aire en respuesta a la corriente de carga. De este modo, puede realizarse un ajuste apropiado en la capacidad de apilamiento de células de combustible para que el valor de corriente de carga se acerque a la condición de funcionamiento deseada, y esté por debajo del límite admisible máximo designado, por ejemplo.

En otro aspecto de la rutina 370, si la corriente suministrada es mayor que el valor admisible máximo, el convertidor CC-CC puede funcionar para limitar la corriente, mientras que el sistema de control funciona para ajustar por consiguiente la corriente admisible máxima que puede suministrarse por el apilamiento 220 de células de combustible. El sistema de control puede afectar posteriormente a las capacidades del reformador y del apilamiento de células de combustible a través de los controladores 310 PID K1 y 330 PID K2 en las rutinas 350 y 360, iniciando así ajustes en el dispositivo 214 de control del flujo de agua y el dispositivo 204 de control del flujo de combustible tal como se describe en el presente documento. En otro ejemplo, si se establece que la tensión de batería es mayor que el valor de referencia deseado, el controlador puede ajustar el dispositivo de control del flujo de agua y el dispositivo de control del flujo de combustible de modo que se reduzca la capacidad del reformador, y por consiguiente la del apilamiento de células de combustible, reduciendo así la corriente de carga suministrada por el sistema y permitiendo que se restablezca la tensión de batería de sistema al, o se acerque al, valor de referencia deseado.

De este modo, la presente solicitud integra un sistema de control en respuesta a la tensión en el grupo 100 electrógeno, en el que una serie de rutinas, tal como se describe en la figura 3, pueden iniciarse en paralelo, o en tándem, para permitir capacidades del reformador y del apilamiento de células de combustible mejoradas. Además, la estructura en cascada de las rutinas puede permitir una coordinación rápida y mejorada del sistema de control. En un ejemplo, los eventos que inician un cambio en el flujo de vapor al reformador en la rutina 350 pueden alterar la relación vapor a carbono del reformador afectando por consiguiente también al flujo de combustible al reformador en la rutina 360. En otro ejemplo, los eventos que llevan a una alteración de la capacidad del reformador en la rutina 360 también pueden llevar a un cambio en la corriente 340 de carga suministrada por el apilamiento 220 de células de combustible (afectando a la capacidad del apilamiento de células de combustible), alterando así el caudal de aire del apilamiento de células de combustible en la rutina 370. En aún otro ejemplo, un cambio en la corriente de carga suministrada por el apilamiento 220 de células de combustible puede alterar la tensión de batería de sistema de modo que el sistema de control funcione para posteriormente dirigirse a la capacidad del reformador y del apilamiento de células de combustible. Usando rutinas de control en cascada y el acumulador eléctrico, el sistema de control de grupo electrógeno puede gestionar mejor la capacidad del reformador para condiciones anticipadas, proporcionando así al apilamiento de células de combustible suficiente combustible enriquecido con hidrógeno. Las rutinas de control en cascada también pueden permitir una sincronización funcional de las capacidades del reformador y del apilamiento de células de combustible, permitiendo así una mejora en la capacidad de generación de energía eléctrica del grupo en las condiciones de funcionamiento del grupo electrógeno existentes.

En particular, las rutinas de control en cascada, tal como se describe en más detalle en la figura 4, pueden permitir además que el sistema reduzca el daño en el que se incurre por los componentes del grupo electrógeno en caso de cambios transitorios en la tensión de batería. Por ejemplo, cuando la tensión 302 de batería de sistema cae por debajo del valor 306 de referencia deseado, el sistema de control ajusta la capacidad para reformar del reformador 210 seguido por el ajuste de la capacidad de la célula de combustible, aumentando así la corriente 340 de carga suministrada por el apilamiento de células de combustible hasta que la tensión de batería de sistema está dentro de los límites del valor 306 de referencia de tensión. Ajustando la capacidad del reformador en respuesta a la tensión de batería de sistema antes de ajustar la capacidad del apilamiento de células de combustible, la capacidad del reformador puede guiar la capacidad del apilamiento de células de combustible. El guiado en respuesta a la tensión en la capacidad del reformador, en la situación dada, mantiene la presencia de una cantidad adecuada de hidrógeno en el lado de ánodo del apilamiento de células de combustible, de modo que puede gestionarse una caída transitoria en la tensión de batería mediante el sistema de control aumentando la corriente suministrada por el apilamiento de células de combustible/acumulador eléctrico sin incurrir en daños en el apilamiento de células de combustible, o cualquier otro componente del grupo 100 electrógeno.

El funcionamiento anterior puede contrastarse con un sistema de control en respuesta a la corriente, por ejemplo. En el sistema basado en corriente, el reformador reacciona frente a la corriente suministrada por el apilamiento de células de combustible de modo que una caída transitoria en la tensión llevaría en primer lugar a un aumento en la

corriente suministrada por el apilamiento de células de combustible, seguido por un ajuste apropiado de la capacidad del reformador. En este enfoque, el tiempo de respuesta implicado en el ajuste de los caudales de agua y combustible del reformador, el ajuste del caudal de aire y la regulación de los niveles de temperatura del sistema, puede ser más largo de lo deseado. Si los niveles de hidrógeno en la célula de combustible no son adecuados por la sobrecorriente de carga repentina que se suministra por la célula de combustible, esto puede llevar a un daño irreversible de la célula de combustible.

En otro ejemplo, si la tensión de batería es mayor que el valor de referencia de la tensión deseada, el sistema de control de la presente solicitud ordena una disminución en la corriente de carga suministrada por el apilamiento 220 de células de combustible mientras que el reformador experimenta un retraso en la disminución de la capacidad para reformar. En este escenario, el retraso inducido por la tensión en la capacidad del reformador permite una respuesta rápida a disminuciones transitorias en la tensión de batería. Por tanto, la implementación de un avance o retraso en respuesta a la tensión, según sea apropiado, en la capacidad del reformador con respecto a la capacidad del apilamiento de células de combustible, permite que el sistema de control de grupo electrógeno reaccione mejor a los transitorios de corriente y/o tensión.

La figura 4 muestra un diagrama de flujo que muestra una realización de un método para controlar el grupo 100 electrógeno según la presente divulgación, tal como usando las diversas rutinas de control de la figura 3. El método 400 comprende en primer lugar, en 402, estimar la tensión 302 de batería de sistema (por ejemplo, leer el dispositivo 228 de medición de tensión de batería). En 404, el método comprende determinar el error de tensión (x) entre la tensión 302 de batería medida y el valor 306 de referencia de tensión. El error se alimenta a la tabla 308 de consulta que calcula un valor de error ajustado E basándose en el error de entrada x y una función de ganancia no lineal, tal como se describió anteriormente.

El método 400 también comprende en 406, ajustar el dispositivo 214 de control del flujo de agua, basándose en la desviación/error ajustado calculado de la tensión 304 de batería medida con respecto al valor 306 de referencia, a través de una orden recibida desde el controlador 310 K1, tal como se representa en la rutina 350 de la figura 3. Pueden incorporarse ajustes adicionales que se basan en una acción de control de anticipación dependiente de la corriente de bus recibida desde la tabla 316 de consulta. Ajustando el suministro de agua al reformador de célula de combustible a través de un controlador de retroalimentación y basándose en un error de tensión de batería, y a través de una entrada dependiente de la corriente de bus de anticipación, se genera una respuesta apropiada para rectificar las desviaciones con respecto al valor de referencia de tensión, sin requerir un almacenamiento de combustible excesivo u otros recursos.

A continuación, el método 400 comprende en 408, analizar la relación vapor a carbono, tal como se representa en la rutina 360 de la figura 3. Una relación de vapor a carbono apropiada en el reformador 210 puede permitir una optimización de la capacidad del reformador. En caso de una desviación con respecto al valor 326 de referencia, en 410 el valor de error x se evalúa adicionalmente en la tabla 328 de consulta para calcular un error ajustado E antes de la comunicación con el controlador K2. También pueden incorporarse ajustes de anticipación dependientes de la corriente de bus adicionales, tal como se muestra en la figura 3. La entrada permite un ajuste apropiado del caudal de combustible correspondiente al caudal de vapor de reformador en 412, reajustando así la relación vapor a carbono para que esté más cerca del valor 326 de referencia deseado. El bucle de control de retroalimentación representado en la rutina 360 genera ajustes en el suministro de combustible que a su vez pueden permitir una respuesta apropiada para rectificar las desviaciones de la relación vapor a carbono medida con respecto al valor 326 de referencia predeterminado. Si no se percibe ningún error en 408, el sistema de control mantiene las condiciones existentes del flujo de combustible al interior del reformador en 414.

Una vez que se ajusta la capacidad del reformador mediante el sistema de control, entonces puede proceder a coordinar de manera apropiada la capacidad de generación de corriente del apilamiento de células de combustible. Para este efecto, el método 400 comprende además en 416, el ajuste en el convertidor 104 CC-CC, del valor de una corriente admisible máxima que va a suministrarse por el apilamiento 220 de células de combustible, tal como se representa en la rama superior de la rutina 370 en la figura 3. El valor asignado se basa en la tasa de flujo de combustible al reformador 210, que por consiguiente afecta a la producción de combustible enriquecido con hidrógeno que se oxida en el apilamiento 220 de células de combustible. La corriente de carga suministrada por el apilamiento de células de combustible puede determinarse mediante el dispositivo 226 de medición de corriente.

De este modo, es posible integrar un sistema de control en respuesta a la tensión en el grupo 100 electrógeno estacionario que comprende un apilamiento 220 de células de combustible, un reformador 210 que suministra combustible enriquecido con hidrógeno, generado a partir de un suministro de combustible sin tratar de hidrocarburos, al apilamiento de células de combustible, y un sistema de gestión de batería, permitiendo así una respuesta rápida a y una protección mejorada frente a fluctuaciones de energía eléctrica transitorias. El sistema de control puede incluir un valor de referencia predeterminado para la tensión de batería. Ajustando los valores de referencia en el reformador y el apilamiento de células de combustible de una manera coordinada, el sistema de control puede monitorizar y mantener la tensión de batería alrededor del valor 306 de referencia predeterminado. En un aspecto, si se determina por el sistema de control en respuesta a la tensión que la tensión de batería de sistema

está por debajo del valor de referencia deseado, el sistema de control acciona una serie de controles para proporcionar la carga adicional requerida para el mantenimiento de la tensión de batería. Por ejemplo, regulando el dispositivo 214 de control del flujo de agua del reformador junto el dispositivo 204 de control del flujo de combustible usando controles derivativos, puede ajustarse la capacidad del reformador sin afectar a la relación vapor a carbono requerida.

En otro aspecto, incluyendo un hardware de controlador CC-CC que garantiza la extracción de una corriente admisible máxima del apilamiento de células de combustible, basándose en el flujo de combustible al reformador, puede controlarse la capacidad de la célula de combustible. De manera adicional, puede monitorizarse la capacidad del apilamiento de células de combustible controlando el dispositivo 224 de control del flujo de aire alimentando el apilamiento de células de combustible en respuesta a la corriente de carga extraída de la célula de combustible a través de un sistema 342 de tabla de consulta. La incorporación adicional de un control derivativo en el sistema de control mencionado anteriormente puede permitir una respuesta transitoria mejorada y un rechazo de alteraciones. Incorporando un avance o retraso apropiado en la capacidad para reformar con respecto a la capacidad de la célula de combustible, es posible manejar cambios inesperados en la tensión de batería.

Específicamente, si se determina por el esquema de control que la tensión de batería ha alcanzado el valor de referencia deseado, el convertidor 104 CC-CC puede reducir en primer lugar la corriente de carga requerida del apilamiento 220 de células de combustible, mientras que el reformador 210 continúa quedando por encima, permitiendo así que el sistema reaccione más rápido a los transitorios de tensión de batería. Por tanto, incluyendo un diseño que permita quedar por encima del valor de referencia del reformador pero quedar por debajo de manera reducida, el esquema de control puede reaccionar más rápido a los transitorios de tensión de batería. El empleo de controladores gobernados fundamentalmente por mecanismos de control de retroalimentación y el orden de eventos en las rutinas de control en cascada ayudan adicionalmente a que el sistema de control responda rápidamente a pequeñas fluctuaciones en los valores de corriente y tensión con respecto a los valores de referencia predeterminados, como se explica en la figura 3.

Obsérvese que las rutinas de control y estimación de ejemplo incluidas en el presente documento pueden usarse con diversas configuraciones de sistema. Las rutinas específicas descritas en el presente documento pueden representar una o más de cualquier número de estrategias de procesamiento tales como activadas por eventos, activadas por interrupciones, multitarea, de múltiples hilos, y similares. De este modo, pueden realizarse diversas acciones, operaciones o funciones ilustradas en la secuencia ilustrada, en paralelo, o en algunos casos omitirse. Del mismo modo, no se requiere necesariamente que el orden de procesamiento consiga las características y ventajas de las realizaciones de ejemplo descritas en el presente documento, sino que se proporciona para facilitar la ilustración y descripción. Una o más de las acciones, funciones u operaciones ilustradas pueden realizarse repetidamente dependiendo de la estrategia particular usada. Además, las operaciones, funciones y/o acciones descritas pueden representar gráficamente un código a programar en un medio de almacenamiento legible por ordenador en el sistema de control.

La figura 5 muestra un diagrama de flujo que representa una descripción simplificada del funcionamiento de las rutinas del sistema de control ilustradas en las figuras 3-4. El método 500 comprende en primer lugar en 502, como se indicó anteriormente en la figura 4 en 402, medir la tensión de batería de sistema usando el dispositivo 228 de medición de tensión de batería. Posteriormente, en 504, el método 500 comprende evaluar si la tensión de batería está por debajo del valor 306 de referencia deseado. En ese caso, en 506, se procesa el error a través de la tabla 308 de consulta y posteriormente se comunica con el controlador PID K1 que de manera apropiada ajusta el dispositivo 214 de control del flujo de agua del reformador para aumentar la cantidad de agua, en forma de vapor, que entra en el reformador 210. Esta rutina, 350, se ha descrito anteriormente en la figura 3.

En 508, el método 500 comprende evaluar la relación vapor a carbono, basándose en mediciones de flujo de agua (vapor) y flujo de combustible al reformador. Si es correcto, en 512, el método implica evaluar la corriente suministrada por el apilamiento de células de combustible, a través del dispositivo 226 de medición de corriente, y la verificación de que está dentro del límite admisible máximo tras la comparación con el valor en la tabla 342 de consulta de corriente. Si también está dentro del intervalo admisible, la corriente de carga se usa por el sistema de control para cargar el acumulador (batería) de sistema. Por consiguiente, en 516, la tensión de batería de sistema medida se verifica de nuevo con respecto al valor 306 de referencia predeterminado. Sin embargo, si en 516 se determina que la tensión de batería de sistema está ahora por encima del valor de referencia deseado, en 518, se asigna un valor admisible máximo para la corriente que puede suministrarse por el apilamiento 220 de células de combustible en el convertidor CC-CC. De este modo, el sistema de control puede reducir las sobrecorrientes que de otro modo podrían provocar un daño irreversible en los componentes del grupo electrógeno. Si la tensión de batería de sistema todavía está por debajo del valor de referencia deseado en 516, el sistema de control procede entonces a repetir los eventos en el bucle de control empezando desde la etapa 504 para garantizar una corriente de carga apropiada que pueda restablecer la batería de sistema a su valor deseado.

Por el contrario, si la relación vapor a carbono medida en 508 es incorrecta, en 510, el dispositivo 204 de control del flujo de combustible del reformador se ajusta a través del controlador PID K1. El inicio de la rutina 350 de control de

- retroalimentación aumenta la cantidad de combustible que fluye al interior del reformador, y por consiguiente modifica la relación vapor a carbono. Esto permite una utilización mejorada de la capacidad del reformador. Alternativamente, si en 512 se determina que la corriente suministrada por el apilamiento de células de combustible está por debajo del límite admisible máximo, entonces en 514 se ajusta el dispositivo de control del flujo de aire de célula de combustible, tal como se representa en la rutina 370, para aumentar la capacidad de corriente del apilamiento de células de combustible. Los eventos en 506, 510 y 514 reflejan el esfuerzo conjunto del sistema de control para aumentar la corriente de carga suministrada por la célula de combustible gestionando mejor las capacidades tanto del reformador como de la célula de combustible. Entonces se espera que el aumento en la corriente de carga permita recargar la batería acumuladora del sistema.
- 5
- 10 De este modo, un sistema de control de grupo electrógeno en respuesta a la tensión que incluye un acumulador eléctrico y modula los componentes de sistema para controlar la tensión de batería de sistema puede manejar mejor cualquier alteración. A diferencia de los sistemas de control de mayor ganancia en respuesta a la corriente que pueden reaccionar en exceso y son caros, el sistema de control de menor ganancia en respuesta a la tensión descrito en el presente documento puede manejar transitorios de una manera mejorada y económica. El uso de una
- 15 batería de sistema para disminuir el tiempo de respuesta del controlador electrónico también puede proteger los componentes del grupo electrógeno, por ejemplo el reformador, frente a sobrecorrientes repentinas. De una sola vez, la potencia de CA del inversor de sistema puede emplearse si la potencia generada desde el grupo electrógeno no es suficiente. En este aspecto, la incorporación de una batería de sistema también puede permitir la protección del inversor de sistema frente a un daño irreversible en caso de una sobrecorriente temporal. Incorporando un
- 20 sistema de acumulador en forma de batería relativamente pequeña, el sistema de control puede mantener una cantidad de hidrógeno en el ánodo de célula de combustible suficiente sin que sea necesario un acumulador de combustible excesivamente grande, obviando así los costes relacionados con un combustible excesivo, un almacenamiento de combustible adicional y recursos relacionados. La solidez del sistema de control de grupo electrógeno en la gestión de transitorios también puede obviar la necesidad de un sistema de acumulador más
- 25 grande tal como un sistema de batería grande o supercondensadores. Aunque el sistema de control puede equilibrar la respuesta dinámica a los transitorios con una batería acumuladora más pequeña, el presente enfoque para el control de grupos electrógenos también puede aplicarse con sistemas de acumulador más grandes.

REIVINDICACIONES

1. Método para hacer funcionar un sistema de generación eléctrica que incluye una célula de combustible acoplada a un acumulador eléctrico a través de un bus de CC, en el que la célula de combustible está acoplada además a un reformador de vapor, y en el que el acumulador eléctrico incluye una batería, que comprende
- 5 ajustar el funcionamiento del reformador basándose en una tensión afectada por el acumulador eléctrico, respondiendo el ajuste a la tensión del bus de CC, mientras se mantiene una relación vapor a carbono del reformador para controlar la carga del acumulador eléctrico por la célula de combustible, y
- ajustar un suministro de agua al reformador de vapor en respuesta a la variación de la tensión de batería, y ajustar un suministro de combustible al reformador de vapor en respuesta a la variación de la relación vapor a carbono para
- 10 mantener la relación vapor a carbono,
- en el que el método comprende además compensar un aumento de demanda de potencia proporcionando corriente desde el acumulador eléctrico antes de que aumente la corriente en la célula de combustible por el ajuste del reformador.
2. Método según la reivindicación 1, en el que el flujo de agua al reformador se aumenta en respuesta a una
- 15 disminución de la tensión.
3. Método según la reivindicación 1, que comprende además ajustar un modo de un convertidor CC-CC acoplado en el sistema basándose en una corriente de carga generada por la célula de combustible.
4. Método según la reivindicación 1, que comprende además ajustar un flujo de combustible al reformador en respuesta a una relación carbono a vapor.
- 20 5. Método según la reivindicación 1, que comprende además ajustar un flujo de aire de la célula de combustible en respuesta a una corriente de carga generada por la célula de combustible.
6. Método según la reivindicación 1, que comprende además:
- ajustar el flujo de agua al reformador en respuesta a la tensión, mientras se ajusta un flujo de combustible al reformador en respuesta a una relación carbono a vapor, y mientras se ajusta un flujo de aire de la célula de
- 25 combustible en respuesta a una corriente de carga generada por la célula de combustible.
7. Método para hacer funcionar un apilamiento de células de combustible en un sistema de generación eléctrica según la reivindicación 1, estando el apilamiento de células de combustible acoplado a un acumulador eléctrico a través de un convertidor CC-CC y un bus de tensión de CC, en el que la célula de combustible está acoplada además a un reformador de vapor, que comprende
- 30 ajustar el funcionamiento del reformador basándose en una tensión deseada del bus de tensión de CC y basándose en una relación vapor a carbono deseada del reformador para controlar la carga del acumulador eléctrico por la célula de combustible, en el que el ajuste incluye ajustar el combustible sin tratar suministrado al reformador basándose en una retroalimentación indicativa de una relación vapor a carbono real y ajustar el agua suministrada al reformador basándose en una retroalimentación indicativa de la tensión real del bus de tensión de CC,
- 35 en el que el método comprende además compensar el aumento de demanda de potencia proporcionando corriente desde el acumulador eléctrico antes de que aumente la corriente en la célula de combustible por el ajuste del reformador.
8. Método según la reivindicación 7, en el que la tensión de CC deseada se ajusta con parámetros de funcionamiento y/o en el que la relación vapor a carbono deseada se ajusta con parámetros de funcionamiento.
- 40 9. Sistema, que comprende:
- un apilamiento de células de combustible;
- un reformador acoplado al apilamiento de células de combustible que proporciona combustible enriquecido con hidrógeno al apilamiento de células de combustible;
- un suministro de combustible sin tratar que suministra combustible sin tratar al reformador;

un suministro de agua que suministra agua al reformador;

un suministro de aire que suministra aire al apilamiento de células de combustible;

un bus de tensión acoplado eléctricamente al apilamiento de células de combustible;

un sistema de batería acoplado eléctricamente al bus de tensión;

- 5 un sistema de control configurado para ajustar el agua suministrada al reformador en respuesta a la tensión del bus de tensión, y para ajustar el combustible sin tratar suministrado al reformador en respuesta a una relación vapor a carbono; y

medios configurados para compensar un aumento de demanda de potencia proporcionando corriente desde el sistema de batería antes de que aumente la corriente en la célula de combustible por el ajuste del reformador.

- 10 10. Sistema según la reivindicación 9, en el que el sistema de control ajusta además el aire suministrado a la célula de combustible en respuesta a una corriente de carga generada por la célula de combustible y/o en el que el agua suministrada al reformador y el combustible sin tratar suministrado al reformador se ajustan independientemente de la corriente de carga y/o que comprende además un convertidor CC-CC acoplado eléctricamente al bus de tensión, en el que el bus de tensión es un bus de tensión de CC, y en el que el apilamiento de células de combustible está acoplado eléctricamente al bus de tensión de CC a través del convertidor CC-CC y/o en el que el sistema de control ajusta además el funcionamiento del convertidor CC-CC en respuesta a la corriente de carga.

11. Sistema según la reivindicación 10, en el que el sistema está acoplado en un grupo electrógeno estacionario.

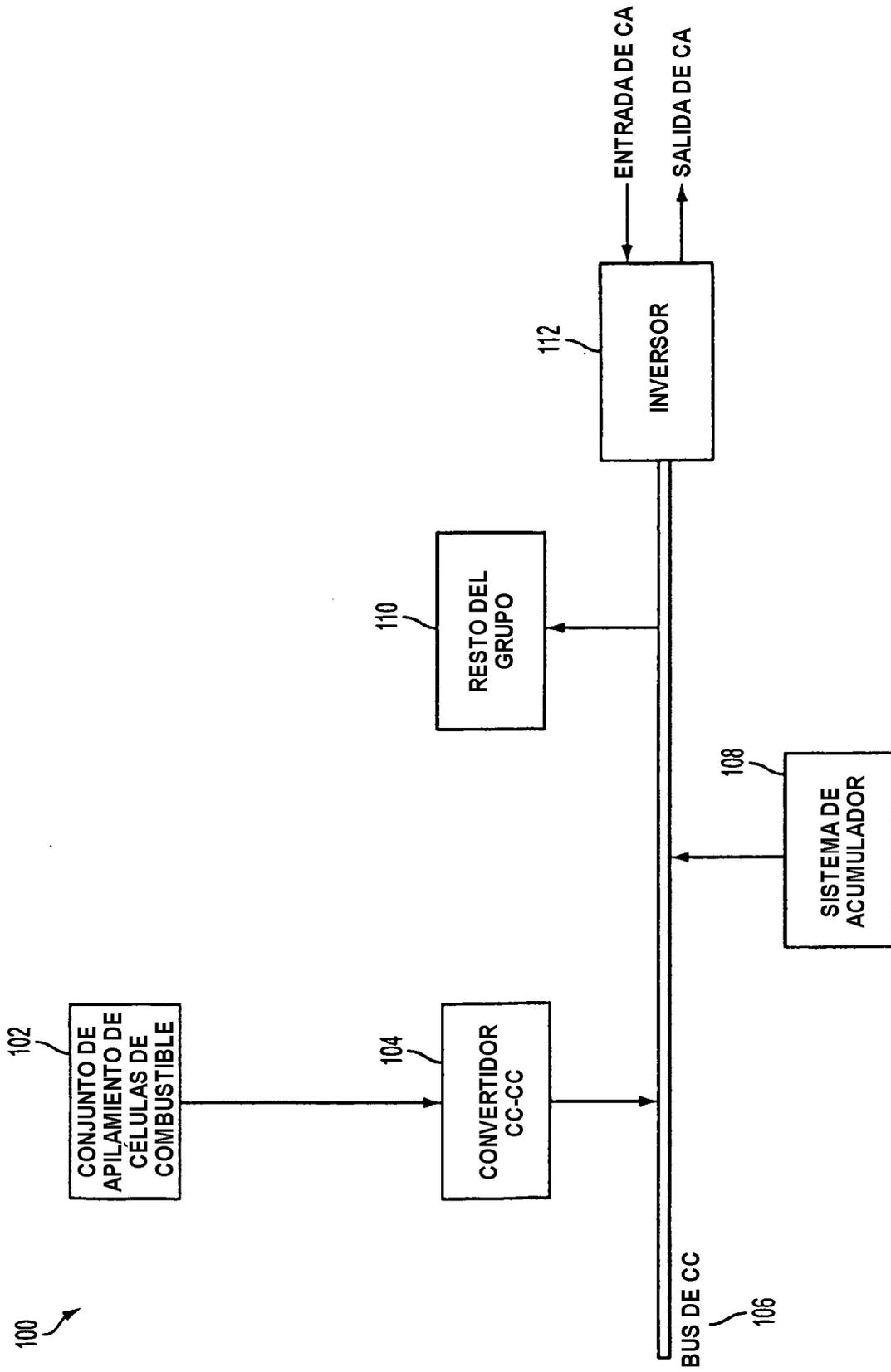


FIG. 1

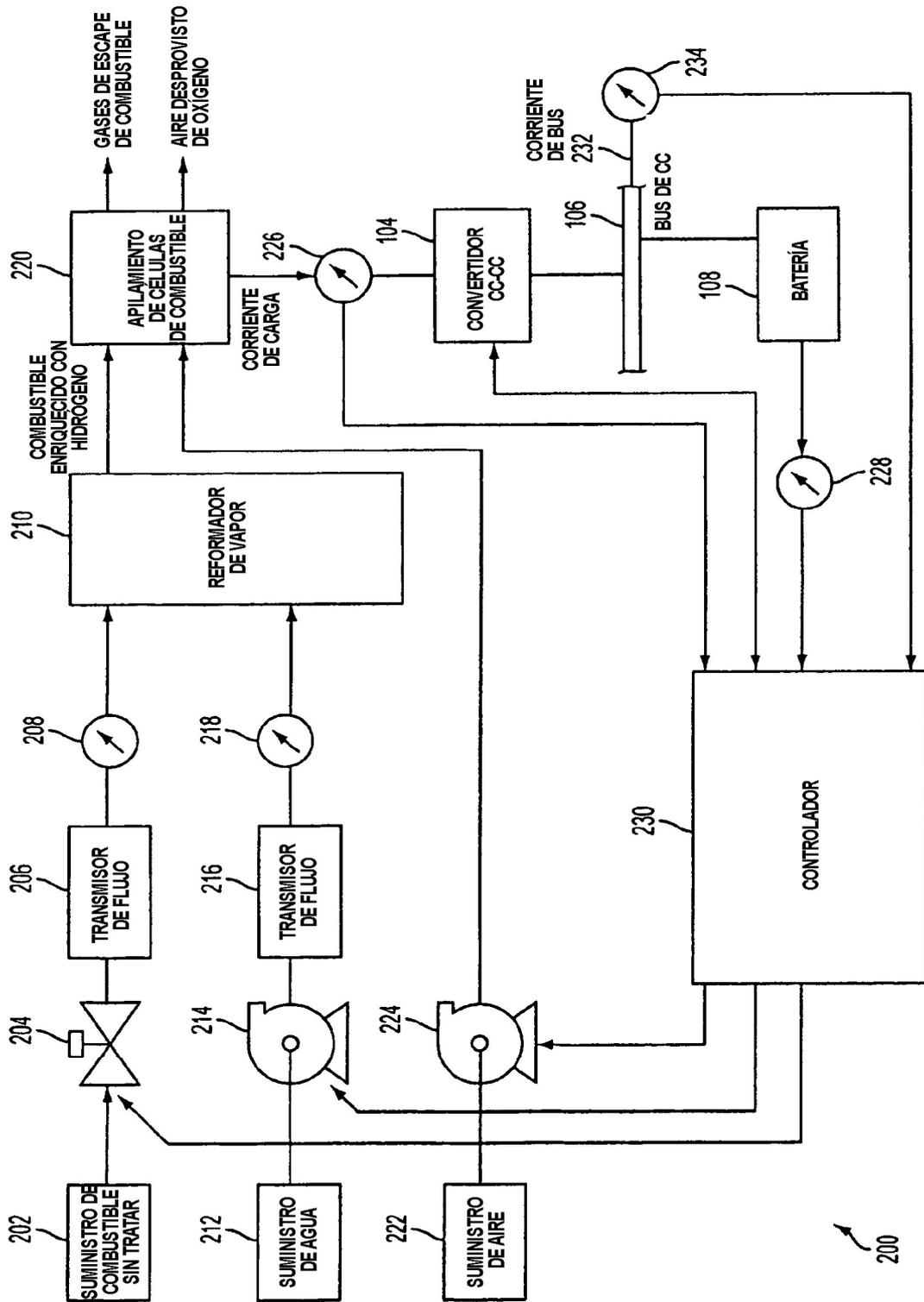


FIG. 2

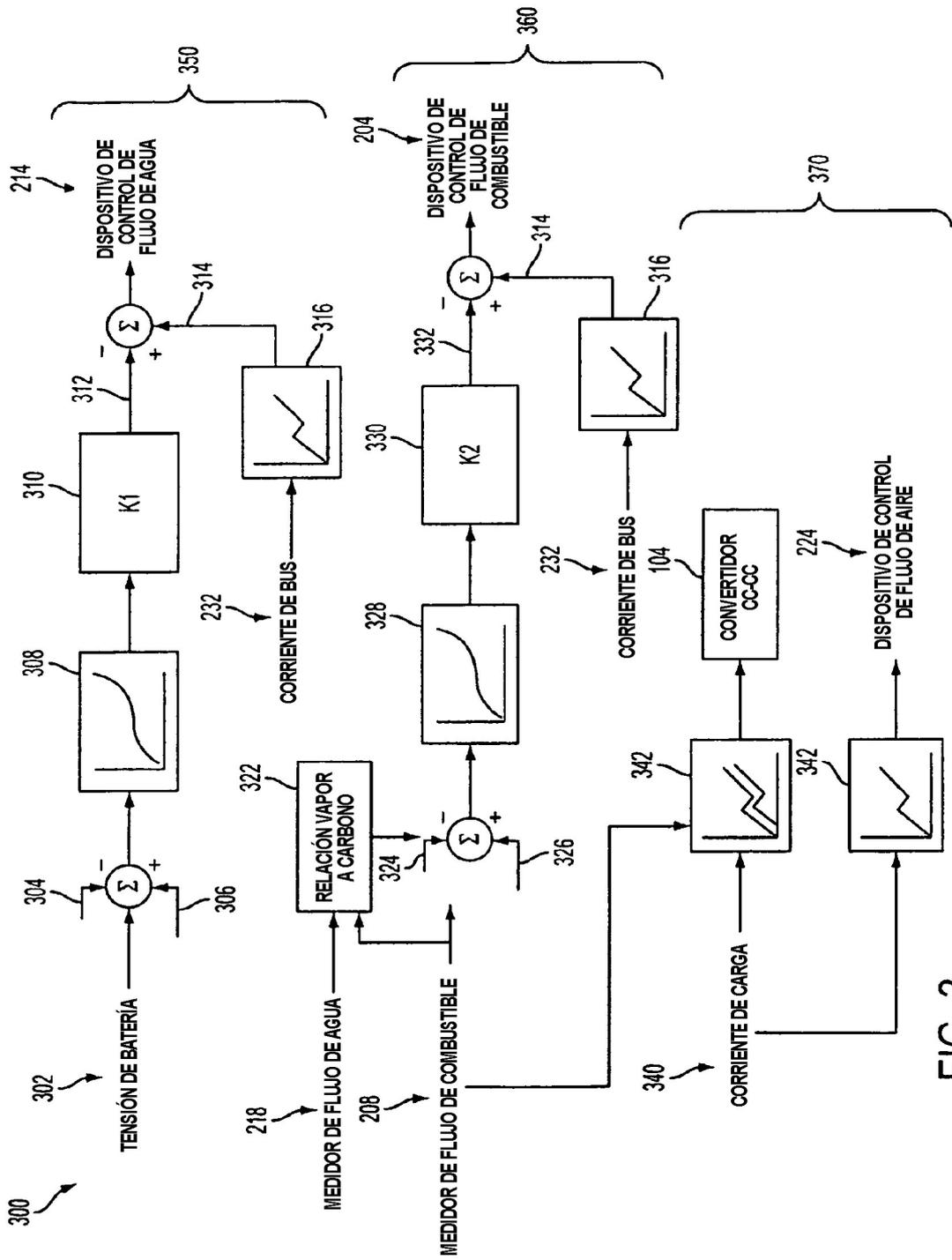


FIG. 3

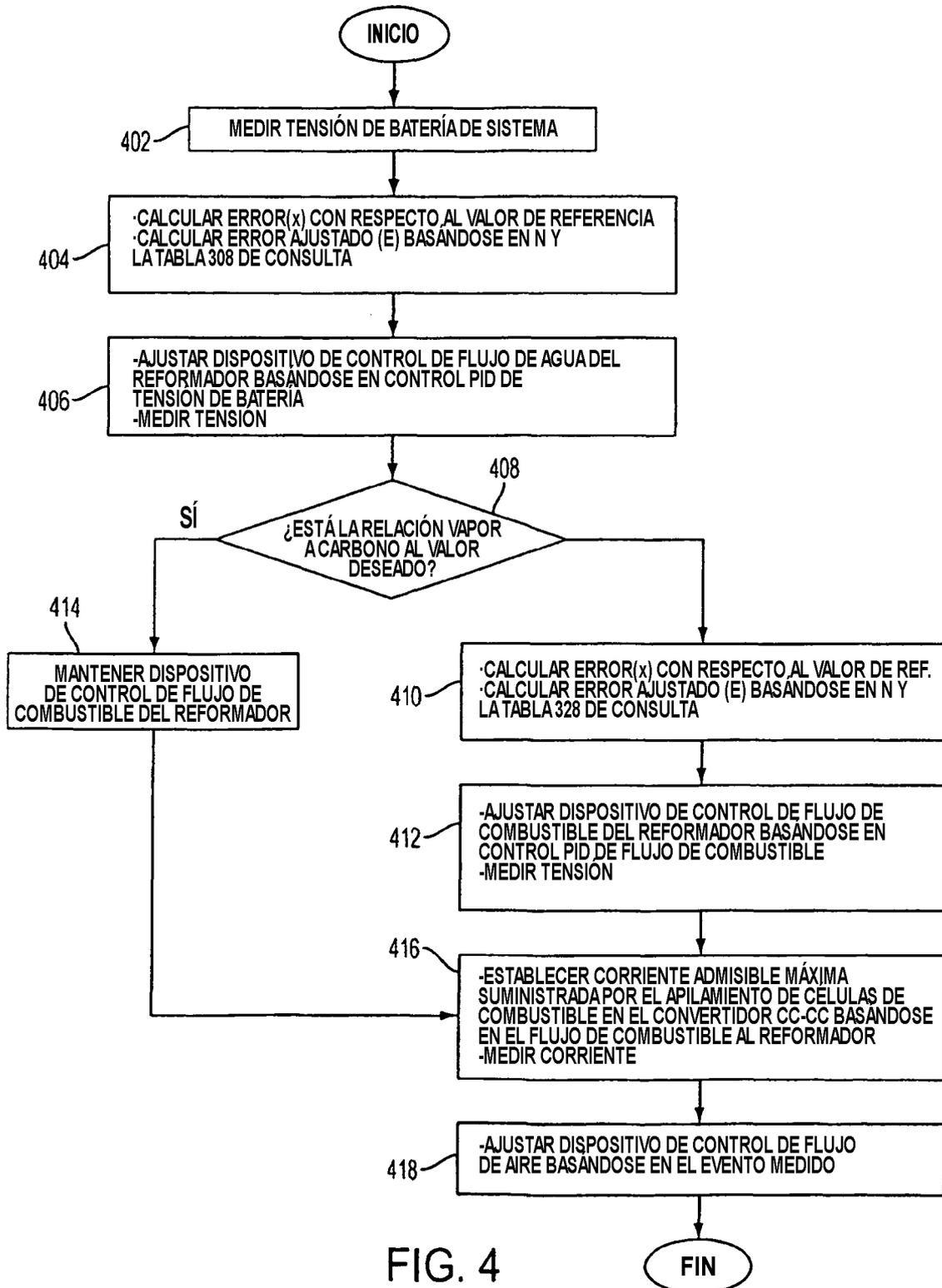


FIG. 4

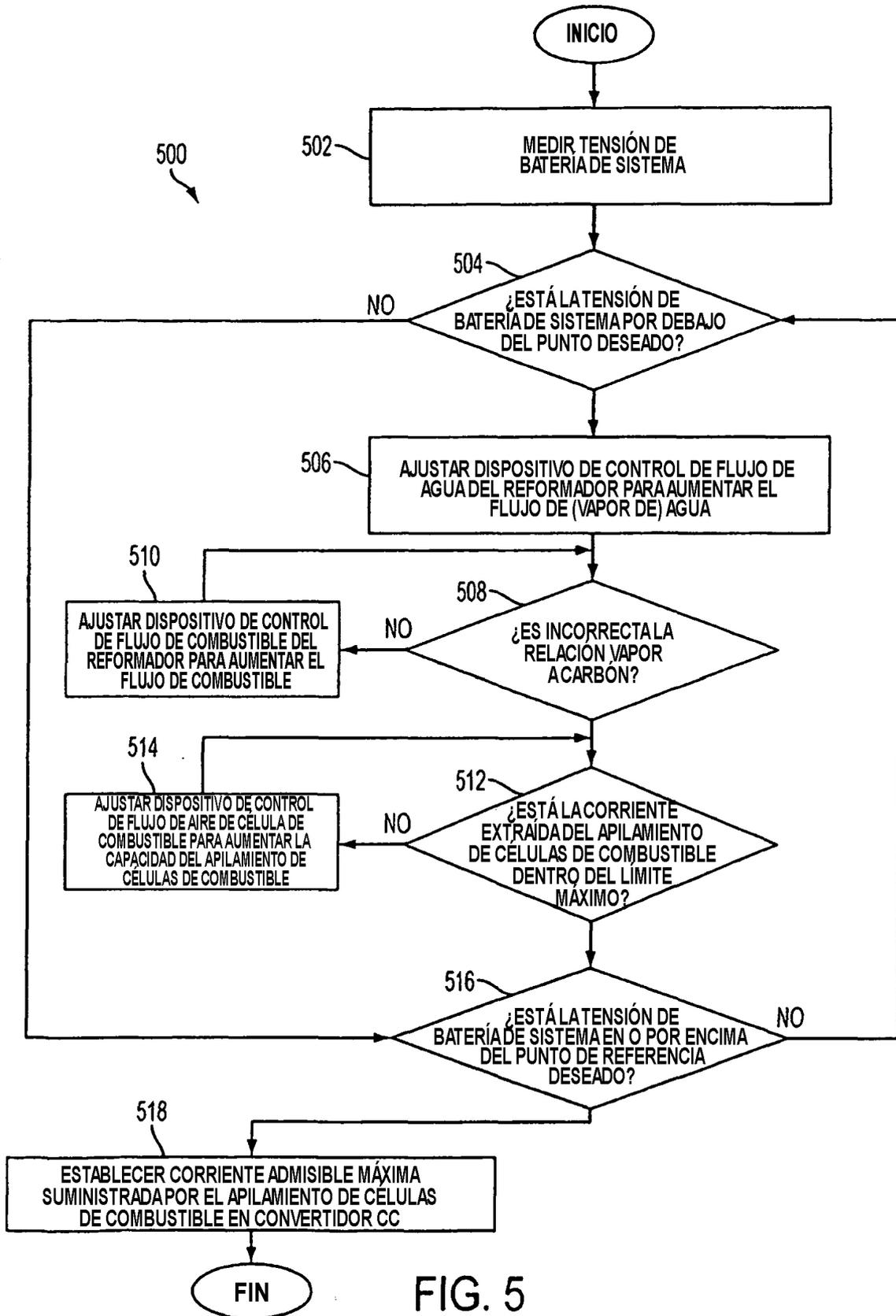


FIG. 5