

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 994 229**

51 Int. Cl.:

F24D 19/10 (2006.01)

F24F 11/63 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.10.2022** **E 22200182 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2024** **EP 4163554**

54 Título: **Sistema de regulación para un circuito termohidráulico y método de control**

30 Prioridad:

07.10.2021 IT 202100025670

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
20.01.2025

73 Titular/es:

**ACCADEMIA EUROPEA BOLZANO - EURAC
RESEARCH (100.00%)
Viale Druso, 1
39100 Bolzano, IT**

72 Inventor/es:

SOPPELSA, ANTON

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 994 229 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

Sistema de regulación para un circuito termohidráulico y método de control

5 La presente invención se refiere al campo de los sistemas para controlar temperaturas y caudales máscicos o volumétricos en el interior de sistemas de distribución de energía (térmica).

10 En particular, la invención se refiere a un sistema de regulación para un circuito termohidráulico configurado para controlar conjuntamente la temperatura y el caudal máscico o volumétrico en un sistema de distribución de energía térmica, tal como por ejemplo, pero no de forma exclusiva, los sistemas de calefacción y refrigeración usados en edificios residenciales o en plantas industriales para la distribución de energía desde una máquina térmica (o desde un almacenamiento de energía térmica) al radiador o entre una bomba de calor y uno o más almacenamientos de energía térmica.

15 Las actuales tecnologías de gestión automatizada permiten implementar sistemas de control de temperatura altamente eficientes o pueden asociarse a sistemas de termorregulación preexistentes para optimizar el rendimiento de los mismos.

20 Los sistemas de termorregulación conocidos para circuitos termohidráulicos generalmente se gestionan de forma que se garantice una temperatura deseada en uno o más volúmenes a calentar o enfriar, por ejemplo la temperatura del aire en el caso de una o más unidades residenciales de un edificio y/o en habitaciones individuales del mismo, o la temperatura de un fluido portador dentro de una cámara o conducto en un punto dado a controlar, por ejemplo en la entrada de una o más máquinas industriales.

25 Los sistemas que controlan la apertura o el cierre de una válvula de tres vías dentro de tales sistemas de regulación mezclan adecuadamente el fluido portador de suministro de la planta con el fluido portador de retorno.

30 Un ejemplo de los sistemas mencionados anteriormente se describe, por ejemplo, en los documentos WO 2020/065417 o WO 2008/039065 A1, por ejemplo.

35 Sin embargo, los sistemas de la técnica anterior, y en particular los sistemas de control de termorregulación relacionados, no permiten gestionar adecuadamente la rápida consecución de la temperatura óptima deseada. De hecho, los sistemas de control de la técnica anterior requieren varios ciclos iterativos para alcanzar el funcionamiento óptimo de la planta en función de los parámetros de control disponibles (típicamente, la apertura/cierre de la válvula de tres vías únicamente).

40 Por lo tanto, se siente fuertemente la necesidad de sugerir un sistema de regulación para un circuito termohidráulico y un método de control para un sistema de regulación para un circuito termohidráulico, que sean capaces de superar los inconvenientes antes mencionados de la técnica anterior.

45 Tal necesidad se satisface con un sistema de regulación para un circuito termohidráulico y un método de control para un sistema de regulación para un circuito termohidráulico de acuerdo con las reivindicaciones independientes adjuntas. Las reivindicaciones dependientes describen realizaciones preferidas o ventajosas.

50 Las características y ventajas del sistema de regulación de un circuito termohidráulico y del método de control del sistema de regulación de un circuito termohidráulico se pondrán de manifiesto, sin embargo, a partir de la siguiente descripción de realizaciones preferidas de los mismos, dada a título indicativo no limitativo, con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:

55 - la figura 1 muestra un diagrama de un sistema de regulación para un circuito termohidráulico de acuerdo con una realización de la presente invención;

- la figura 2 muestra un diagrama de bloques funcional del algoritmo de control configurado en la unidad de control electrónico;

60 - la figura 3 muestra un diagrama de bloques funcional detallado de una función de modelo del diagrama de bloques de la figura 2;

- la figura 4 muestra un diagrama de bloques detallado de un controlador incluido en el diagrama de bloques de la figura 2;

- la figura 5 muestra un diagrama de bloques detallado del componente de retroalimentación del controlador de la figura 4.

65 Con referencia a los dibujos citados, el número de referencia 1000 indica un sistema de regulación de un circuito termohidráulico en su conjunto, es decir, un sistema para controlar la temperatura de un fluido en un volumen

destinado a ser calentado o enfriado. Por ejemplo, el sistema de regulación de un circuito termohidráulico es un sistema de calefacción o un sistema de refrigeración o un sistema de aire acondicionado para un edificio que comprende el circuito termohidráulico, donde el volumen destinado a calentar o enfriar es, por ejemplo, el volumen de aire de una habitación del edificio o de todo el edificio, o es un volumen de fluido en el interior de terminales de intercambio de calor o radiadores.

El sistema 1000 de regulación para un circuito termohidráulico, cuya realización se muestra esquemáticamente con mayor detalle en la figura 1, comprende un circuito termohidráulico 20 y una unidad 14 de control electrónico. El circuito termohidráulico 20 comprende una máquina térmica 100, por ejemplo un generador de calor (una caldera o una bomba de calor o un intercambiador de calor o similar) o un absorbedor de calor (un acondicionador de aire o similar), adaptado para calentar o enfriar un fluido portador. Además, el circuito termohidráulico 20 comprende al menos un terminal 101 de intercambio de calor. Por terminal de intercambio de calor se entiende cualquier máquina térmica o configuración termohidráulica adaptada para intercambiar calor con una carga térmica, por ejemplo un terminal radiante, uno o más radiadores, convectores, calentadores de ventilador, paneles radiantes de suelo o techo o conjunto de tubos radiantes o similares, o uno o más intercambiadores de calor, o uno o más almacenamientos térmicos, o uno o más separadores hidráulicos aguas arriba de uno o más terminales radiantes, o una combinación de los mismos.

El circuito termohidráulico 20 comprende además un sistema 20' de circulación de fluido portador adaptado para permitir la circulación de un fluido portador en el interior del circuito termohidráulico 20. El sistema 20' de circulación de fluido portador incluye un conducto 102 de suministro para transferir el fluido portador desde la máquina térmica 100 hasta el terminal 101 de intercambio de calor, y un conducto 103 de retorno para transferir el fluido portador desde el terminal 101 de intercambio de calor hacia la máquina térmica 100.

Una válvula 1 de tres vías está dispuesta a lo largo del conducto 102 de suministro y está conectada de manera fluidica a la máquina térmica 100 y al conducto 103 de retorno. La válvula 1 de tres vías es operable para mezclar el fluido portador en el conducto 102 de suministro con el fluido portador en el conducto 103 de retorno.

El conducto 102 de suministro permite que el fluido portador fluya desde la máquina térmica 100 hacia el elemento radiante 101, y posiblemente hacia otros elementos (no mostrados) del circuito termohidráulico 20, como por ejemplo una caldera/tanque de agua caliente doméstica.

El conducto 103 de retorno permite que un flujo de fluido portador desde el elemento radiante 101 regrese hacia la máquina térmica 100 y hacia la válvula 1 de tres vías.

Una bomba 2 está instalada en el conducto 102 de suministro y está adaptada para bombear el fluido portador a través del sistema de circulación de fluido portador.

De acuerdo con una variante (no mostrada), la bomba 2 está instalada en el conducto 103 de retorno aguas arriba de la válvula 1 de tres vías, es decir, antes de la válvula 1 de tres vías y aguas abajo del elemento radiante 101, en el sentido de circulación del fluido portador (indicado esquemáticamente por las flechas en la figura 1).

Preferiblemente, la válvula 1 de tres vías está dispuesta en el conducto 102 de suministro entre la máquina térmica 100 y la bomba 2, a lo largo del conducto 102 de suministro. La válvula 1 de tres vías puede así ser activada para mezclar el fluido portador procedente de una salida 8 de máquina térmica de la máquina térmica 100 (por ejemplo, un fluido portador "caliente" de la máquina térmica) con el fluido portador "frío" procedente de una salida 11 de radiador del terminal 101 de intercambio de calor de manera que se regule -en particular, para bajar en el caso de fluido "caliente" procedente de la máquina térmica o para calentar en el caso de fluido "frío" procedente de la máquina térmica- la temperatura del fluido portador en el conducto 102 de suministro que sale de la válvula 1 de tres vías. En otras palabras, el conducto 102 de suministro comprende una primera porción 102' de conducto que conecta la salida 8 de máquina térmica con una primera entrada 1' de la válvula de tres vías y en el que circula fluido portador directamente procedente de la máquina térmica 100. Además, el conducto 102 de suministro comprende también una segunda porción 102'' de conducto que está conectada directamente a una salida de válvula de la válvula 1 de tres vías y en la que circula un fluido portador mixto, es decir, un fluido portador obtenido mezclando el fluido portador directamente procedente de la máquina térmica 100 con el fluido portador procedente del terminal 101 de intercambio de calor, en particular procedente de la salida 11 de radiador del terminal de intercambio de calor.

El circuito termohidráulico 20 comprende al menos un primer sensor 4 de temperatura instalado en el conducto 102 de suministro aguas abajo de la válvula 1 de tres vías, es decir, preferiblemente en la segunda porción 102'' de conducto, y aún más preferiblemente aguas abajo de la bomba 2. El primer sensor 4 de temperatura está adaptado para medir la temperatura de suministro postválvula 91 del fluido portador aguas abajo de la válvula 1 de tres vías en la dirección de flujo del fluido portador.

El circuito termohidráulico 20 comprende además al menos un segundo sensor 5 de temperatura instalado en el conducto 102 de suministro o en el interior de la máquina térmica 100, aguas arriba de la válvula 1 de tres vías,

es decir, preferiblemente en la primera porción 102' de conducto. El segundo sensor 5 de temperatura está adaptado para medir la temperatura de suministro preválvula ϑ_2 del fluido portador aguas arriba de la válvula 1 de tres vías en la dirección de flujo del fluido portador.

El circuito termohidráulico 20 comprende además al menos un tercer sensor 6 de temperatura instalado en el conducto 103 de retorno o en el interior del terminal 101 de intercambio de calor y adaptado para medir la temperatura ϑ_3 del fluido portador aguas abajo del terminal 101 de intercambio de calor en la dirección de flujo del fluido portador. Un tercer sensor 6 de temperatura se instala además aguas arriba de la válvula 1 de tres vías.

Además, al menos un sensor 3 de caudal o de flujo está instalado en el sistema de circulación de fluido para medir un caudal másico o volumétrico $\dot{m}_1$ del fluido portador en un área del sistema 20' de circulación de fluido. Preferiblemente, el sensor 3 de caudal o de flujo se instala en el conducto 103 de retorno, aún más preferiblemente se instala aguas abajo del terminal 101 de intercambio de calor y aguas arriba de una segunda entrada 1'' de la válvula 1 de tres vías.

De acuerdo con una realización ventajosa, el sensor 3 de caudal o de flujo está instalado antes de un punto 7 de bifurcación del conducto 103 de retorno en dos ramales 71, 72 de conducto, donde un primer ramal 71 de dichos dos ramales 71, 72 está conectado a la segunda entrada 1'' de la válvula 1 de tres vías y el segundo ramal 72 de dichos dos ramales está conectado a la máquina térmica 100, y en particular a la entrada 9 de máquina de la máquina térmica 100.

La unidad 14 de control electrónico está conectada operativamente a la válvula 1 de tres vías, a la bomba 2, al primer sensor 4 de temperatura, al segundo sensor 5 de temperatura, al tercer sensor 6 de temperatura, y al sensor 3 de caudal o de flujo, para leer parámetros o controlar su activación.

La unidad 14 de control electrónico está configurada para adquirir la temperatura de suministro postválvula ϑ_1 , la temperatura de suministro preválvula ϑ_2 , la temperatura de fluido portador ϑ_3 aguas abajo del terminal 101 de intercambio de calor, el valor del caudal másico o volumétrico $\dot{m}_1$ del fluido portador, desde el sensor respectivo.

Además, la unidad 14 de control electrónico comprende un dispositivo 140 de almacenamiento en el que se almacena una función de modelo $\hat{V}$ del funcionamiento de la válvula conectada al circuito termohidráulico 20, y una unidad 141 de procesamiento configurada para calcular los valores de ciertas señales que se describen a continuación y que se entenderán mejor con referencia a la figura 2 que muestra un ejemplo de un diagrama de control cargado en la unidad 141 de procesamiento.

La unidad 141 de procesamiento está configurada para calcular una señal u de control de válvula adaptada para determinar un valor de apertura de la válvula 1 de tres vías para mezclar el fluido portador procedente de la máquina térmica 100 y del terminal 101 de intercambio de calor en función de (es decir, de acuerdo con un procesamiento de) dicho valor de apertura de la válvula 1 de tres vías.

Además, la unidad 141 de procesamiento está configurada para calcular una señal p_g de control de bomba adaptada para regular el valor de potencia suministrada por la bomba, es decir, el caudal másico o volumétrico del flujo de fluido portador.

La unidad 141 de procesamiento está configurada además para calcular un valor estimado de temperatura de suministro postválvula $\hat{\vartheta}_1$ y un valor estimado de caudal másico $\hat{\dot{m}}_1$ como valores de salida de la función de modelo $\hat{V}$ del circuito termohidráulico 20.

En particular, la unidad 141 de procesamiento está configurada además para calcular conjuntamente el valor estimado de temperatura de suministro postválvula y un valor estimado de caudal másico $\hat{\dot{m}}_1$ como valores de salida de la función de modelo $\hat{V}$, es decir, en la misma iteración de cálculo.

Tal unidad 141 de procesamiento está configurada además para calcular un error de temperatura de suministro de fluido portador $e_{\vartheta 1}$ y un error de caudal volumétrico o másico de fluido portador $e_{\dot{m} 1}$. La unidad 141 de procesamiento calcula tal error de temperatura de suministro de fluido portador $e_{\vartheta 1}$ en función de (por ejemplo, mediante una suma algebraica) un valor de temperatura de suministro postválvula deseado $r_{\vartheta 1}$, la temperatura de suministro postválvula medida ϑ_1 y el valor de temperatura de suministro postválvula estimado $\hat{\vartheta}_1$.

Además, la unidad 141 de procesamiento calcula tal error de caudal másico o volumétrico $e_{\dot{m} 1}$ del fluido portador en función de un valor de caudal másico o volumétrico deseado $r_{\dot{m} 1}$, el valor del caudal másico o volumétrico medido $\dot{m}_1$ del fluido portador y el valor del caudal másico o volumétrico estimado $\hat{\dot{m}}_1$.

Por lo tanto, la señal u de control de válvula y la señal p_g de control de bomba se calculan en función del error de caudal másico $e_{\dot{m} 1}$ y del error de temperatura de suministro del fluido portador $e_{\vartheta 1}$.

De acuerdo con una realización, la función de modelo $\hat{V}$ consiste en una familia de transformaciones similares combinadas entre sí mediante un sistema difuso del tipo Takagi-Sugeno.

5 De acuerdo con una realización ventajosa, la señal u de control de válvula y la señal p_g de control de bomba también se calculan en función del valor de caudal másico o volumétrico deseado r_{m1} , del valor de la temperatura de suministro postválvula deseada ϑ_{11} , del valor de la temperatura de suministro preválvula ϑ_2 , de la temperatura ϑ_3 del fluido portador aguas abajo del terminal 101 de intercambio de calor. En esta variante, la temperatura de suministro preválvula ϑ_2 y la temperatura ϑ_3 del fluido portador aguas abajo del terminal 101 de intercambio de calor se retrasan adecuadamente en el tiempo mediante una línea de retraso respectiva D_2 , D_3 , (por ejemplo, una
10 función de transferencia que retrasa la señal de suministro preválvula ϑ_2 y la temperatura ϑ_3 del fluido portador) para obtener una temperatura de suministro preválvula retrasada ϑ_5 y una temperatura retrasada ϑ_6 del fluido portador aguas abajo del terminal 101 de intercambio de calor.

15 Preferiblemente, el valor estimado de temperatura de suministro postválvula $\hat{\vartheta}_1$ se calcula a través de una tercera línea de retraso (por ejemplo, una función de transferencia que retrasa la señal) a partir de un primer valor de temperatura de suministro postválvula $\hat{\vartheta}_4$ arrojado por la función de modelo $\hat{V}$ y el valor estimado de caudal másico $\hat{m}_1$ se calcula añadiendo un segundo retraso de tiempo predefinido a un primer valor de caudal másico $\hat{m}_4$ arrojado por la función de modelo $\hat{V}$.

20 De acuerdo con una realización, la temperatura de suministro preválvula retrasada ϑ_5 , la temperatura retrasada ϑ_6 del fluido portador aguas abajo del terminal 101 de intercambio de calor se calculan en función de la señal u de control de válvula retrasada de acuerdo con un rango de retraso predeterminado y la señal p_g de control de bomba retrasada a la bomba 2 de acuerdo con un segundo rango de retraso predeterminado.

25 De acuerdo con una realización ventajosa, la temperatura de suministro preválvula retrasada ϑ_5 , la temperatura retrasada ϑ_6 del fluido portador aguas abajo del terminal 101 de intercambio de calor y la temperatura de suministro postválvula estimada $\hat{\vartheta}_1$ se calculan a través de líneas de retraso auxiliares que procesan el valor de las señales de caudal másico o volumétrico $\hat{m}_5$, $\hat{m}_6$ y $\hat{m}_4$ estimadas por la función de modelo $\hat{V}$, respectivamente, que a su vez las calcula procesando el valor de la señal u de control a la válvula 1 y el valor de la señal p_g de control a la bomba 2.

30 Con especial referencia a la figura 2, a continuación se describirá con mayor detalle la lógica de procesamiento ejecutada en la unidad 14 de control electrónico para controlar el sistema 1000 de regulación de un circuito termohidráulico.

35 De acuerdo con la realización de la figura 2, el bloque $P(z)$ es la planta real, esquematizada en la figura 1, y a la que llegan la señal u de control de válvula y la señal p_g de control de bomba.

40 El bloque $\hat{V}$ es la función del modelo (u observador) que permite estimar valores de un estado de parámetros no directamente observables. La función de modelo $\hat{V}$ junto con los bloques de retraso especiales indicados a la derecha en la figura 2 (D_1 , z^{dm}) son un predictor que modela la planta real $P(z)$.

45 El bloque indicado por $\hat{C}(z)$ es el controlador, es decir, la serie de instrucciones de código ejecutadas por la unidad 141 de procesamiento para calcular la señal u de control de válvula y la señal p_g de control de la bomba.

Los bloques adicionales D_1 , D_2 y D_3 en cambio son líneas de retraso particulares provistas de dos entradas, una para la cantidad a retrasar, la otra para una cantidad de tipo caudal volumétrico o másico, empleada para obtener un retraso dependiendo de los valores tomados por esta última en instantes pasados.

50 De acuerdo con una realización, el valor de la cantidad arrojada desde la línea de retraso particular ($\hat{\vartheta}_1$, ϑ_5 o ϑ_6) se calcula interpolando linealmente los dos últimos elementos de una cola circular que contiene pares de valores que representan el valor tomado por la cantidad en la entrada de la línea de retraso particular ($\hat{\vartheta}_1$, ϑ_2 o ϑ_3) en instantes pasados y la posición actual de cada uno de estos valores dentro de la línea de retraso. En una
55 formulación ventajosa, las posiciones se actualizan iterativamente de manera proporcional al caudal del fluido ($\hat{m}_4$, $\hat{m}_5$ o $\hat{m}_6$) y al paso de integración. Cada vez que la posición del último elemento de la cola excede una longitud característica asociada a la línea de retraso especial (violación de la condición sobre la posición), tal elemento es eliminado de la cola y reintroducido al principio de la cola, disminuyendo así su coordenada posicional de la longitud característica de la línea de retraso especial y asignando al valor de la cantidad de
60 entrada, el valor de la cantidad de entrada que este tiene cuando se detecta la violación de la condición sobre la posición.

En la figura 3 se muestra, por ejemplo, un ejemplo de la función de modelo $\hat{V}$. De acuerdo con una realización, el modelo de la planta se puede obtener a través de un modelo Takagi-Sugeno V del sistema.

Esto significa que, de acuerdo con una realización, las cantidades $\widehat{\vartheta}_4$ y $\widehat{m}_4$ son el resultado de una transformación similar de las cantidades p_g , u , ϑ_5 y ϑ_6 , donde los coeficientes de la matriz de transferencia y el término conocido se determinan a su vez en función de las variables u y p_g , por ejemplo como

$$\begin{bmatrix} \widehat{\vartheta}_4 \\ \widehat{m}_4 \end{bmatrix} = \widehat{\mathbf{P}}_1(u, p_g) \begin{bmatrix} u \\ p_g \end{bmatrix} + \widehat{\mathbf{P}}_2(u, p_g) \begin{bmatrix} \vartheta_5 \\ \vartheta_6 \end{bmatrix} + \widehat{\mathbf{b}}(u, p_g).$$

De manera similar, las cantidades $\widehat{m}_5$ y $\widehat{m}_6$ son el resultado de una transformación similar de las cantidades u y p_g , donde los coeficientes de la matriz de transferencia y el término conocido se determinan a su vez en función de las variables u y p_g , por ejemplo como

$$\begin{bmatrix} \widehat{m}_5 \\ \widehat{m}_6 \end{bmatrix} = \widehat{\mathbf{P}}_3(u, p_g) \begin{bmatrix} p_g \\ u \end{bmatrix} + \widehat{\mathbf{c}}(u, p_g).$$

Además, las matrices de transferencia $\widehat{\mathbf{P}}_1(u, p_g)$, $\widehat{\mathbf{P}}_2(u, p_g)$, $\widehat{\mathbf{P}}_3(u, p_g)$ y los términos conocidos $\widehat{\mathbf{b}}(u, p_g)$, $\widehat{\mathbf{c}}(u, p_g)$ se obtienen como una combinación convexa de un cierto número de modelos similares con coeficientes constantes, donde los combinadores son las funciones de pertenencia de las variables u y p_g en una cuadrícula bidimensional adecuada de conjuntos difusos.

De acuerdo con una realización alternativa, las cantidades $\widehat{\vartheta}_4$ y $\widehat{m}_4$ se calculan como una combinación convexa de las imágenes de las cantidades p_g , u , ϑ_5 y ϑ_6 a través de un cierto número de transformaciones similares donde los coeficientes del combinador son las funciones de pertenencia de las variables p_g y u en una cuadrícula bidimensional de conjuntos difusos. De manera similar, las cantidades $\widehat{m}_5$ y $\widehat{m}_6$ se calculan como una combinación convexa de las imágenes de las cantidades p_g , u a través del mismo número de transformaciones similares, donde los combinadores son las mismas funciones de pertenencia de las variables p_g y u en la cuadrícula bidimensional de conjuntos difusos.

En la figura 4 se muestra un ejemplo de controlador con $\widehat{\mathbf{C}}(z)$. Aquí, las variables u y p_g son la suma algebraica de un componente de cadena abierta, calculada por el bloque $\widehat{\mathbf{V}}^{-1}$, y de una cadena cerrada, calculada por el bloque $\mathbf{K}(z)$.

La función del componente de cadena abierta $\widehat{\mathbf{C}}(z)$ del controlador es la de obtener una inversa particular de la función de modelo $\widehat{\mathbf{V}}$ que devuelve exactamente aquellos valores de las variables de control u_{FF} y p_{gFF} que, junto con los valores actuales de ϑ_5 y ϑ_6 , son mapeados por la función de modelo justo en los valores de las referencias $r_{\vartheta 1}$ y r_{m1} dadas en la entrada del bloque $\widehat{\mathbf{V}}^{-1}$ junto con los valores ϑ_5 y ϑ_6 .

En una realización conveniente, tal bloque se puede implementar empleando el método de Newton-Raphson generalizado para el caso multivariable.

El componente de retroalimentación $\widehat{\mathbf{C}}(z)$ del controlador se muestra en la figura 5. La función de este componente $\mathbf{K}(z)$ es la de aumentar, aprovechando el efecto de la conexión de retroalimentación, el rechazo de perturbaciones del sistema de cadena cerrada y atenuar los efectos del error de modelado residual en el largo plazo.

El diseño del bloque de realimentación puede realizarse con diversas técnicas del estado de la técnica, pero en una realización ventajosa, este componente se obtiene usando dos controladores con una entrada y una salida de tipo proporcional, integral y derivativo, uno para la cadena de control relacionada con la temperatura ($\Pi_1(z)$), el otro para la relacionada con el caudal volumétrico o másico ($\Pi_2(z)$), conectados en serie a un elemento desacoplador $\mathbf{P}_1^{-1}$ que puede ser la matriz jacobiana inversa de la función de modelo calculada en el punto u_{FF} , p_{gFF} , ϑ_5 y ϑ_6 .

La determinación experimental de los coeficientes de los modelos de Takagi-Sugeno, y en general de los parámetros de la función de modelo $\widehat{\mathbf{V}}$, puede realizarse mediante la aplicación, alrededor de los puntos de trabajo más significativos, de técnicas de identificación lineal conocidas en el estado de la técnica o mediante la aplicación de cualquier otro método de identificación de modelos paramétricos conocido en el estado de la técnica actual o futuro.

La determinación correcta de la longitud característica de las líneas de retraso especiales D_1 , D_2 y D_3 es igualmente importante. Estos parámetros se pueden determinar con métodos de identificación conocidos en el estado de la técnica, pero mejor aún se pueden determinar basándose en la medición in situ de la distancia recorrida por el fluido entre el cuerpo de la válvula 1 y los sensores 4, 5, 6 de temperatura, respectivamente.

En cuanto al diseño y la consecuente calibración de los coeficientes del bloque de control $K(z)$, este puede realizarse en virtud de la utilización de la función de modelo $\hat{V}$, la función inversa $\hat{V}^{-1}$, y las líneas de retraso D_1 , D_2 y D_3 , usando cualquier técnica conocida en el estado de la técnica.

5

De forma innovadora, la presente invención permite superar de forma brillante los inconvenientes anteriormente citados respecto a los sistemas de control para la regulación de plantas termohidráulicas de la técnica conocida.

10

En particular, el sistema de regulación para un circuito termohidráulico 1000 de la presente invención permite ventajosamente controlar la válvula de tres vías y la bomba de manera acoplada para obtener una respuesta más oportuna, adecuada y eficiente para el punto establecido de temperatura deseada en el volumen de fluido considerado. En otras palabras, en virtud de la posibilidad de controlar conjuntamente la bomba y la válvula de tres vías, es posible realizar un control tal que se actúe simultáneamente sobre la válvula y la bomba para cambiar el valor del caudal solamente o de la temperatura solamente. Esto es particularmente distintivo con respecto a los sistemas de la técnica anterior que no incluyen el control tanto de la válvula como de la bomba.

15

Además, en virtud de la presencia de una función de modelo adecuadamente calibrada, el sistema descrito puede proporcionar el seguimiento preciso de trayectorias preprogramadas (es decir, conocidas en el futuro en términos de temperatura y caudal volumétrico o másico). Esta cualidad específica también hace que la invención sea muy útil en el contexto del control de procesos industriales donde se requiere controlar simultáneamente la temperatura y el caudal de un fluido portador de energía.

20

Con el fin de satisfacer necesidades específicas, los expertos en la técnica pueden realizar variaciones en las realizaciones de la presente invención o sustituir elementos por otros funcionalmente equivalentes.

25

Tales variantes también están incluidas en el alcance de protección como se define en las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1.- Un sistema (1000) para regular un circuito termohidráulico, que comprende:

5 - un circuito termohidráulico (20) que comprende:

- una máquina térmica (100), por ejemplo un generador de calor o un absorbedor de calor, adaptado para calentar o enfriar un fluido portador,

10 - al menos un terminal (101) de intercambio de calor adaptado para intercambiar calor con una carga térmica,

- un sistema de circulación de fluido portador que comprende:

15 - un conducto (102) de suministro para transferir el fluido portador desde la máquina térmica (100) hasta el terminal (101) de intercambio de calor,

- un conducto (103) de retorno para transferir el fluido portador desde el terminal (101) de intercambio de calor hacia la máquina térmica (100),

20 - una válvula (1) de tres vías dispuesta a lo largo del conducto (102) de suministro y conectada de manera fluidica a la máquina térmica (100) y al conducto (103) de retorno, siendo la válvula (1) de tres vías operable para mezclar el fluido portador en el conducto (102) de suministro con el fluido portador en el conducto (103) de retorno,

25 - una bomba (2) instalada en el conducto (102) de suministro o en el conducto (103) de retorno, adaptada para bombear el fluido portador a través del sistema de circulación de fluido portador;

30 - al menos un primer sensor (4) de temperatura instalado en el conducto (102) de suministro y adaptado para medir la temperatura de suministro postválvula (ϑ_1) del fluido portador aguas abajo de la válvula (1) de tres vías en la dirección de flujo del fluido portador;

35 - al menos un segundo sensor (5) de temperatura instalado en el conducto (102) de suministro o en el interior de la máquina térmica (100) y adaptado para medir la temperatura de suministro preválvula (ϑ_2) del fluido portador aguas arriba de la válvula (1) de tres vías en la dirección de flujo del fluido portador;

40 - al menos un tercer sensor (6) de temperatura instalado en el conducto (103) de retorno o en el interior del terminal (101) de intercambio de calor y adaptado para medir la temperatura (ϑ_3) del fluido portador aguas abajo del terminal (101) de intercambio de calor en la dirección de flujo del fluido portador y aguas arriba de la válvula (1) de tres vías;

- al menos un sensor (3) de caudal o de flujo instalado en el sistema de circulación de fluido para medir el caudal másico o volumétrico ($\dot{m}_1$) del fluido portador en un área del sistema de circulación de fluido;

45 comprendiendo además dicho sistema (1000) de regulación una unidad (14) de control electrónico conectada operativamente a la válvula (1) de tres vías, el primer sensor (4) de temperatura, el segundo sensor (5) de temperatura, el tercer sensor (6) de temperatura, el sensor (3) de caudal o de flujo;

50 en el que dicha unidad (14) de control electrónico está configurada para adquirir la temperatura de suministro postválvula (ϑ_1), la temperatura de suministro preválvula (ϑ_2), el caudal másico o volumétrico ($\dot{m}_1$) del fluido portador, la temperatura de fluido portador (ϑ_3) aguas abajo del terminal (101) de intercambio de calor, desde el respectivo sensor;

55 en el que dicha unidad (14) de control electrónico comprende un dispositivo (140) de almacenamiento en el que se almacena una función de modelo ($\hat{V}$) del circuito termohidráulico (20), y una unidad (141) de procesamiento está configurada para calcular los valores de:

60 - una señal (u) de control de válvula adaptada para determinar un valor de apertura de la válvula (1) de tres vías para mezclar el fluido portador procedente de la máquina térmica (100) y procedente del terminal (101) de intercambio de calor de acuerdo con dicho valor de apertura de la válvula (1) de tres vías;

- una señal (p_g) de control de bomba adaptada para regular el valor de la potencia emitida por la bomba, es decir, el caudal másico o volumétrico del flujo de fluido portador;

65 caracterizado porque dicha unidad (141) de procesamiento está configurada para calcular un valor estimado de temperatura de suministro postválvula ($\hat{\vartheta}_1$) y un valor estimado de caudal másico ($\hat{\dot{m}}_1$) como valores de salida de la función de modelo ($\hat{V}$) del circuito termohidráulico (20) y en el que dicha unidad (141) de procesamiento

está configurada para calcular un error de temperatura de suministro ($e_{\vartheta 1}$) del fluido portador y un error de caudal másico o volumétrico (e_{m1}) del fluido portador, en el que dicho error de temperatura de suministro ($e_{\vartheta 1}$) del fluido portador es calculado por la unidad (141) de procesamiento de acuerdo con un valor deseado de temperatura de suministro postválvula ($r_{\vartheta 1}$), la temperatura de suministro postválvula (ϑ_1) medida y el valor de temperatura de suministro postválvula ($\widehat{\vartheta}_1$) estimado,

y en el que dicho error de caudal másico o volumétrico (e_{m1}) del fluido portador es calculado por la unidad (141) de procesamiento de acuerdo con un valor deseado de caudal másico o volumétrico (rm_1), el valor de caudal másico o volumétrico (m_1) medido del fluido portador y el valor estimado de caudal másico o volumétrico ($\widehat{m}_1$),

calculándose dichas señal (u) de control de válvula y señal (p_g) de control de bomba de acuerdo con dicho error de caudal másico (e_{m1}) y dicho error de temperatura de suministro ($e_{\vartheta 1}$) del fluido portador.

2.- Un sistema (1000) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la función de modelo consiste en una familia de transformaciones similares combinadas entre sí por un sistema difuso del tipo Takagi-Sugeno.

3.- Un sistema (1000) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que la señal (u) de control de válvula y la señal (p_g) de control de bomba se calculan también de acuerdo con el valor deseado del caudal másico o volumétrico (rm_1), el valor deseado de la temperatura de suministro postválvula ($r_{\vartheta 1}$), el valor de la temperatura de suministro preválvula (ϑ_2), la temperatura (ϑ_3) del fluido portador aguas abajo del terminal (101) de intercambio de calor, en el que dicha temperatura de suministro preválvula (ϑ_2) y dicha temperatura (ϑ_3) del fluido portador aguas abajo del terminal (101) de intercambio de calor se retrasan adecuadamente en el tiempo mediante una respectiva función de transferencia de retraso (D_2 , D_3) para obtener una temperatura de suministro preválvula retrasada (ϑ_5) y una temperatura de fluido portador retrasada (ϑ_6) aguas abajo del terminal (101) de intercambio de calor.

4.- Un sistema (1000) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la temperatura de suministro postválvula estimada ($\widehat{\vartheta}_1$) se calcula a través de una tercera línea de retraso que comienza a partir de un primer valor de temperatura de suministro postválvula ($\widehat{\vartheta}_4$) arrojado por la función de modelo ($\widehat{V}$) y en el que el valor estimado del caudal másico ($\widehat{m}_1$) se calcula añadiendo un segundo retraso de tiempo predefinido a un primer valor del caudal másico ($\widehat{m}_4$) arrojado por la función de modelo ($\widehat{V}$).

5.- Un sistema (1000) de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, en el que la temperatura de suministro preválvula retrasada (ϑ_5) y la temperatura de fluido portador retrasada (ϑ_6) aguas abajo del terminal (101) de intercambio de calor se calculan de acuerdo con la señal (u) de control de válvula retrasada de acuerdo con un rango de retraso predeterminado y con la señal (p_g) de control de bomba retrasada de acuerdo con un segundo rango de retraso predeterminado.

6.- Un sistema (1000) de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, en el que la temperatura de suministro preválvula retrasada (ϑ_5), la temperatura de fluido portador retrasada (ϑ_6) aguas abajo del terminal (101) de intercambio de calor y la temperatura de suministro postválvula estimada ($\widehat{\vartheta}_1$) se calculan a través de líneas de retraso auxiliares que procesan el valor de las señales de caudal másico o volumétrico ($\widehat{m}_5$, $\widehat{m}_6$ y $\widehat{m}_4$) estimadas por la función de modelo ($\widehat{V}$), respectivamente, que a su vez las calcula procesando el valor de la señal (u) de control en la válvula (1) y el valor de la señal (p_g) de control en la bomba (2).

7.- Un método de control para un sistema de regulación para un circuito termohidráulico (1000) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo dicho método de control los siguientes pasos operativos:

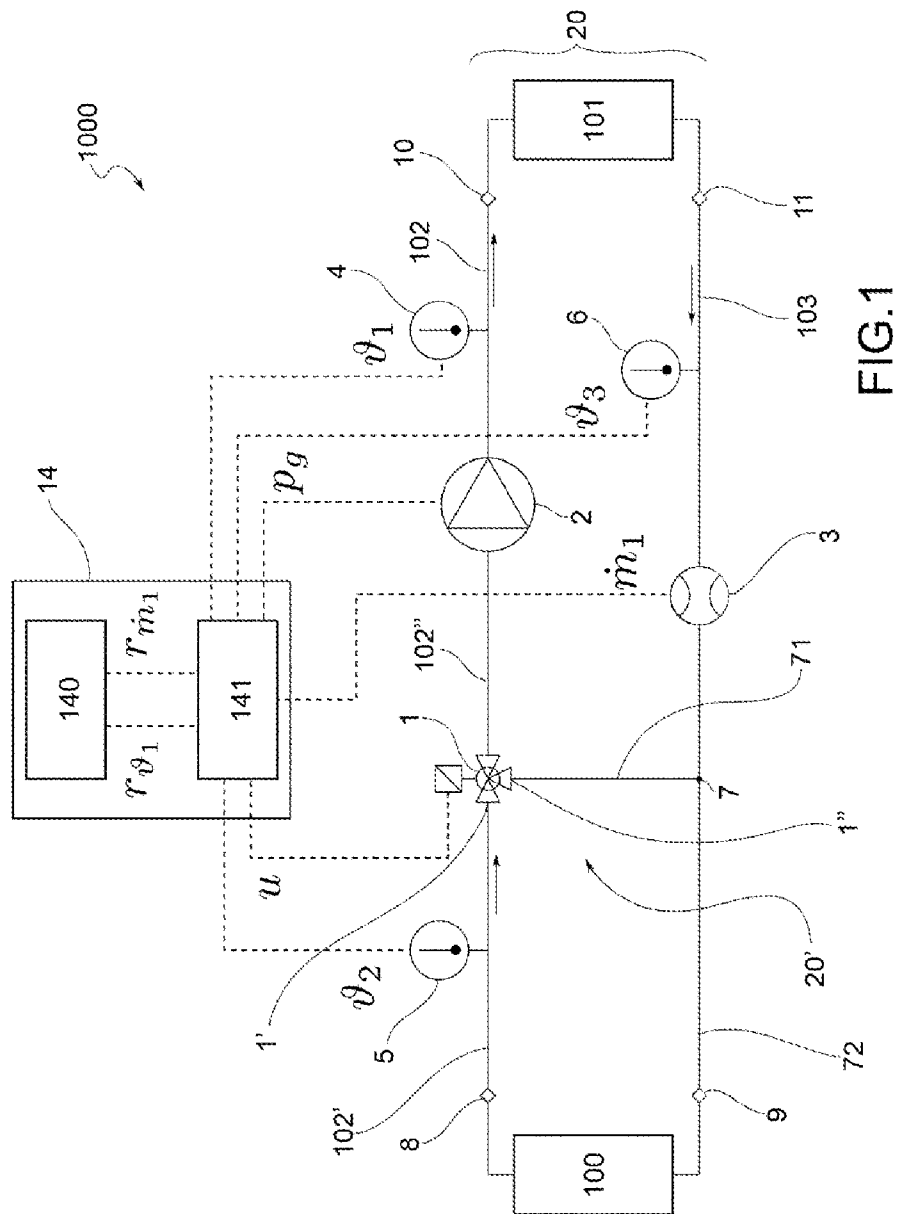
- proporcionar una unidad (14) de control electrónico que comprende un dispositivo (140) de almacenamiento en el que se almacena una función de modelo ($\widehat{V}$) del circuito termohidráulico (20), y una unidad (141) de procesamiento;

en la unidad (141) de procesamiento:

calcular un valor estimado de temperatura de suministro postválvula ($\widehat{\vartheta}_1$) y un valor estimado de caudal másico ($\widehat{m}_1$) como valores de salida de la función de modelo ($\widehat{V}$) del circuito termohidráulico (20);

- calcular un error de temperatura de suministro ($e_{\vartheta 1}$) del fluido portador de acuerdo con un valor deseado de temperatura de suministro postválvula ($r_{\vartheta 1}$), la temperatura de suministro postválvula medida (ϑ_1) y el valor estimado de temperatura de suministro postválvula ($\widehat{\vartheta}_1$),

- calcular un error de caudal másico o volumétrico (e_{m1}) del fluido portador de acuerdo con un valor deseado de caudal másico o volumétrico (r_{m1}), el valor de caudal másico o volumétrico medido ($\dot{m}_1$) del fluido portador y el valor estimado de caudal másico o volumétrico ($\widehat{\dot{m}}_1$);
- 5
- calcular la señal (u) de control de válvula y la señal (p_g) de control de bomba de acuerdo con dicho error de caudal másico (e_{m1}) y de dicho error de temperatura de suministro (e_{g1}) del fluido portador.



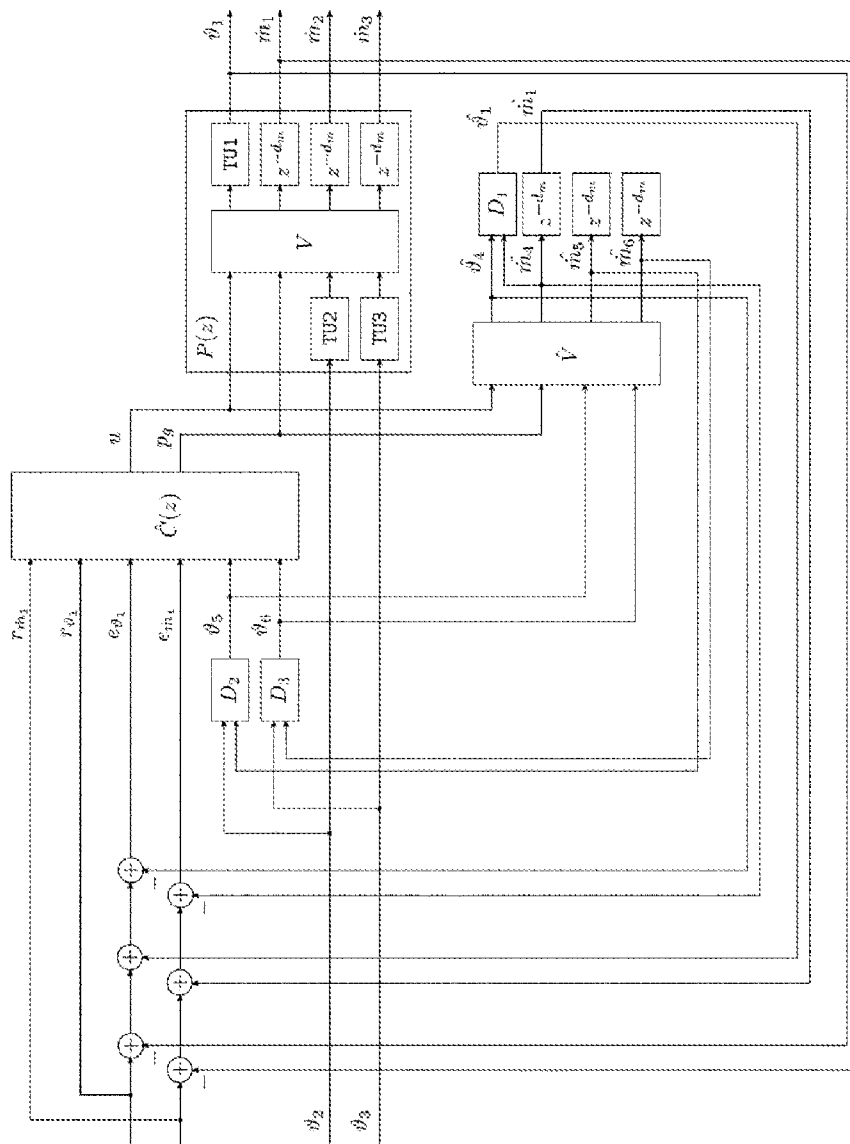


FIG.2

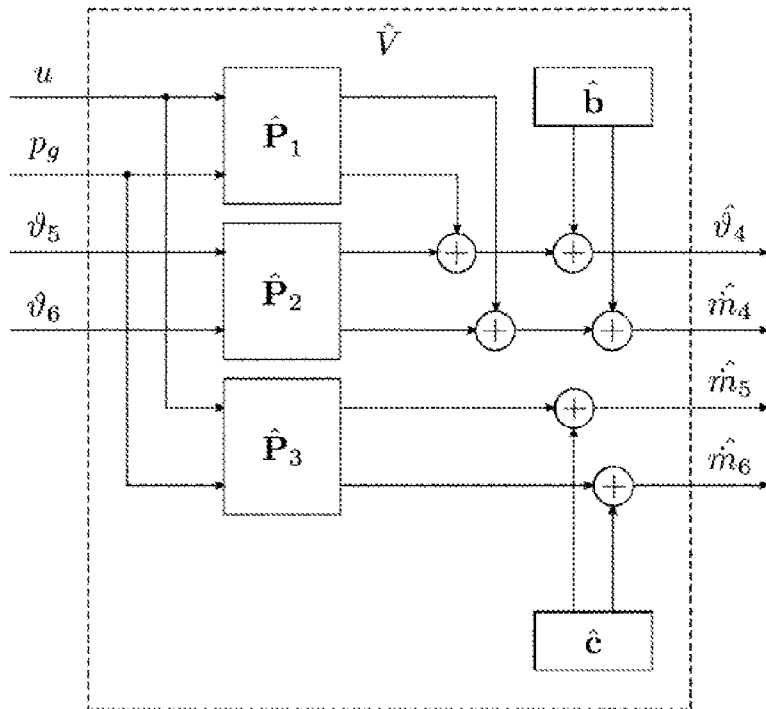


FIG.3

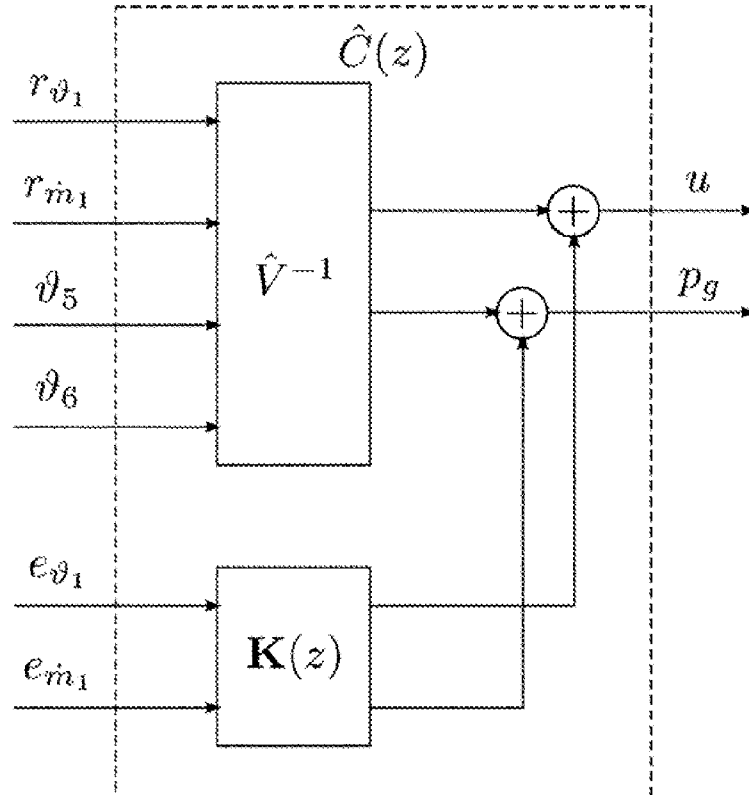


FIG.4

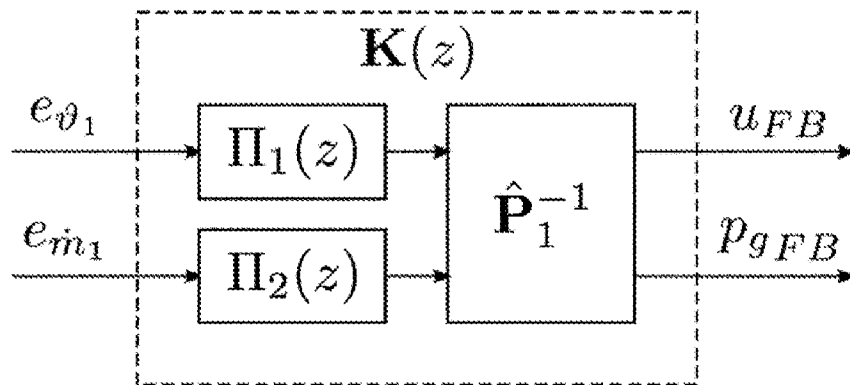


FIG.5