



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 313 488**

⑤1 Int. Cl.:
F23N 5/08 (2006.01)

①2

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑨6 Número de solicitud europea: **06008487 .8**

⑨6 Fecha de presentación : **25.04.2006**

⑨7 Número de publicación de la solicitud: **1850069**

⑨7 Fecha de publicación de la solicitud: **31.10.2007**

⑤4 Título: **Procedimiento y bucle de regulación para regular un proceso de combustión.**

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.03.2009

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.03.2009

⑦3 Titular/es: **Powitec Intelligent Technologies GmbH
Im Teelbruch 134B
45219 Essen, DE**

⑦2 Inventor/es: **Wintrich, Franz**

⑦4 Agente: **Isern Jara, Jorge**

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y bucle de regulación para regular un proceso de combustión.

5 El invento trata de un procedimiento para regular un proceso de combustión con las características del término genérico de la reivindicación 1, así como de un bucle de regulación con las características del término genérico de la reivindicación 8.

10 En un procedimiento conocido de este tipo se regula, ya sea automáticamente sobre valores nominales de la variable de estado, comparando los valores nominales con los valores reales y de ser necesario realizando acciones, normalmente intervenciones de reglaje, o sobre una estabilidad del proceso de combustión, realizando acciones en un volumen reducido.

15 El objetivo del presente invento consiste en optimizar el procedimiento de tipo mencionado anteriormente. Este objetivo se consigue mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1 y mediante un bucle de regulación según la reivindicación 8. Otras configuraciones favorables son parte de las subreivindicaciones.

20 Debido a que temporalmente se cambia de una regulación de conducción a una regulación de perturbaciones según la cual, se seleccionan acciones para aproximarse a estados del sistema en la instalación, en los que las variables de estado dentro de límites preindicados divergen del valor nominal óptimo, se proporcionan informaciones adicionales que posibilitan una regulación optimizada. De este modo, se puede evitar especialmente que el estado del sistema se ancle en un mínimo local. Acciones de este tipo no se realizarían ni en la regulación sobre valores nominales, la cual pretende el valor nominal, ni, puesto que ésta pretende mayores modificaciones del estado, en la regulación sobre la estabilidad del proceso de combustión. Son posibles combinaciones de ambos casos de regulación en el modo de compromisos.

30 El proporcionamiento de información se puede realizar regularmente en una regulación de perturbaciones ordinaria y en una extensa amplitud en lo posible. Adicionalmente (o si acaso, alternativamente) se pueden probar de manera más intensiva, determinados segmentos de estados en una regulación de perturbaciones extraordinaria.

El invento se puede aplicar en diversas instalaciones termodinámicas estacionarias, especialmente, centrales térmicas, plantas incineradoras de residuos y fábricas de cemento.

35 A continuación, se explica en profundidad el invento en base a un ejemplo de fabricación representado en el plano. Se muestran en la:

figura 1, una representación esquematizada del trayecto temporal de una variable de estado $s(t)$ hasta un momento t_0 y las predicciones para el posterior trayecto,

40 figura 2, una representación esquematizada de un trayecto temporal real de una variable de estado $s(t)$ en comparación a la predicción determinada en el momento t_0 .

figura 3, una representación esquematizada del trayecto temporal de una variable de estado $s(t)$ con una acción a^i en el momento t_0 y

45 figura 4, una representación esquematizada de la instalación.

Una instalación 1, por ejemplo, una central térmica a gas, petróleo o carbón, una planta incineradora de residuos o una fábrica de cemento, comprende un horno 3, bajo el cual se debe entender también una parrilla, al menos un dispositivo de observación 5, el cual puede registrar gráficamente el interior del horno 3 (o bien la parrilla), preferentemente otros sensores 7, al menos un dispositivo de reglaje 9 y un ordenador 11, al que están conectados otros sensores 7 y uno o más dispositivos de reglaje 9.

55 Al horno se suministra material de combustión u otro material convertible, denominado abreviadamente como material G, por ejemplo, carbón, petróleo, gas, residuos, cal o similares, así como aire primario (o bien oxígeno) y aire secundario (o bien oxígeno), denominado brevemente como aire L, dirigiendo esta carga a través de los dispositivos de reglaje 9 controlables por el ordenador 11. En el horno 3 se produce un proceso de combustión. El cuerpo flameante F producido de este modo (así como en caso dado, emisiones de las paredes del horno 3) es registrado continuamente por los dispositivos de observación 5. Los dispositivos de observación 5 comprenden respectivamente junto a un acceso 60 óptico que atraviesa la pared del horno 3, por ejemplo, una lanza o un dispositivo presentado en la patente EP 1 621 813 A1, además, una cámara o similar, que trabaja en la zona óptica o en zonas adyacentes de ondas electromagnéticas. Preferente, se trata de una cámara de alta definición, temporal, local y espectral, como por ejemplo, la que está descrita en la patente WO 02/070953 A1.

65 Las imágenes del cuerpo flameante F (y de las posibles emisiones de las paredes del horno 3) son evaluadas en el ordenador 11, por ejemplo, según un procedimiento de valor propio descrito en la patente WO 2004/018940 A1. En la patente EP 1 524 470 A1 se describe un procedimiento de cómo se pueden obtener pocos valores característicos de un espectro. Los datos obtenidos de las imágenes del cuerpo flameante F, así como los datos de otros sensores

7, los cuales miden por ejemplo, el suministro del material G y el aire L, concentraciones de materiales dañinos en los gases de emisión, o la concentración de la cal libre (FAO), son tratados como variables de estado $s(t)$, que describen (dependiendo del tiempo) el estado del sistema en la instalación 1 en general y especialmente el proceso de combustión y que se deben considerar como vector.

5

A través del horno 3 como tramo (de regulación), del o de los dispositivos de observación 5 y de otros sensores 7, del ordenador 11 y de los dispositivos de reglaje 9, se define un bucle de regulación. Se puede prever también un bucle de regulación convencional, sólo con horno 3, sensores 7, ordenador 11 y dispositivos de reglaje 9, sin el o los dispositivos de observación 5, cuya regulación considera únicamente pocas variables de estado s_i (es decir, de baja dimensión), siendo luego optimizado a través de la incorporación del o de los dispositivos de observación 5. El sistema en la instalación 1 es regulable por ejemplo, sobre determinados valores nominales o sobre un proceso estable (es decir, un funcionamiento tranquilo casi estacionario de la instalación 1). En ambos casos se evalúa el estado descrito a través de los valores reales de las variables de estado $s(t)$ y de ser necesario, se seleccionan acciones de reglaje adecuadas (intervenciones de reglaje), denominadas brevemente como acciones a^i , las cuales deben ser ejecutadas por los dispositivos de reglaje 9. Junto al suministro del material G y del aire L, otras actividades de dispositivos de reglaje 9 y caso dado, un muestreo, pueden ser también una acción a^i , en el sentido del invento. Las perturbaciones también pueden ser tratadas como acciones a^i . Son imaginables combinaciones regulables de ambos casos de regulación mencionados anteriormente, que posteriormente representan compromisos.

La valoración del estado y la selección de las acciones a^i adecuadas se puede realizar por ejemplo, según un procedimiento como se describe en la patente WO 02/077527 A1. En el ordenador 11 está implementada al menos una red neuronal, la cual como un modelo de proceso almacena en acciones a^i , las reacciones de los estados del sistema, es decir, las vinculaciones (no lineales) entre los valores de las variables de estado $s(t)$ en un momento $t = t_0$ y luego las acciones a^i accionadas por un lado, los valores resultantes de las variables de estado $s(t)$ en un momento posterior $t = t_1$ (ó $t_1, t_2, t_3 \dots$) (es decir, en torno a un intervalo posterior determinado) por otro lado, concretamente en varios momentos en el pasado. En este sentido se pueden incluir también perturbaciones como acciones a^i (involuntarias) en el modelo de proceso. Una evaluación de situación, es decir la evaluación de situación independiente de las vinculaciones almacenadas que está concebida en forma de un producto simplificado, evalúa para un momento determinado t , los valores de las variables de estado $s(t)$ en vistas a metas de optimización r^j preindicadas, es decir, cuan próximo está el estado del sistema en el momento t , respecto al estado óptimo. Con una evaluación de un estado predecido con el modelo de proceso, dependiendo de una determinada acción a^i , para un momento futuro, se puede determinar la idoneidad de una acción a^i determinada para la aproximación a la meta de optimización r^j .

En el ordenador 11 están almacenados preferentemente tres (o cuatro) modelos de proceso (en una red neuronal propia respectivamente), de los cuales cada uno respectivamente comprende una vinculación estudiada sobre un intervalo de tiempo corto ($t_1 - t_0$), un (o dos) mediano ($t_2 - t_0$) y un largo ($t_3 - t_0$). Correspondientemente son posibles predicciones a corto, mediano y largo plazo. Los intervalos de tiempo indicados fluctúan según la instalación 1, entre aproximadamente algunos segundos y algunas horas. Las variables de estado $s(t)$ pueden y deben variar por lo general, dentro de determinados límites, es decir, dentro de un intervalo, por ejemplo, entre un valor límite inferior S_l y un valor límite superior S_h , en torno a un valor nominal óptimo S_o . Los valores S_l , S_h y S_o pueden depender del tiempo. Las predicciones a corto, mediano y largo plazo sirven para estimar la diferencia de $s(t)$ hacia el valor nominal óptimo S_o (la meta de optimización r^j sería en cuestión por ejemplo, que sea $s(t) - S_o = 0$ o al menos mínimo) y evaluar la conservación de estos límites (valores límite S_l , S_h) y reconocer la exigencia previsible de acciones a^i . El desarrollo temporal de una variable de estado $s(t)$ hasta el momento $t = t_0$, así como la predicción a corto plazo $t = t_1$, la predicción a mediano plazo $t = t_2$ y la predicción a largo plazo $t = t_3$ están representadas simplificada en la figura 1. En la figura 2 está representado el desarrollo real de $s(t)$ en comparación a las predicciones, considerando que en vistas de una mejor comparabilidad no se ha efectuado ninguna acción a^i .

Para la optimización de la precisión se complementan continuamente no sólo los modelos de proceso a través de los desarrollos reales de las variables de estado $s(t)$ como reacción frente a acciones a^i , sino que se produce una competencia de varios modelos de proceso en cuanto a la calidad de las predicciones. En este caso, en el fondo se presentan y practican modelos de proceso alternativos, por ejemplo, con otras topologías, cuyas predicciones son comparadas con los modelos de proceso actualmente aplicados para reemplazar estos los últimos si fuera necesario, como se describe por ejemplo, en la patente EP 1 396 770 A1.

55

Según el invento es posible un cambio de la regulación normal, la así denominada regulación de conducción, hacia una regulación de perturbaciones y (viceversa) para -sin consideración a las metas de optimización r^j - que se asuman diversas acciones a^i para aproximarse selectivamente, primero a estados adyacentes (es decir, frente al estado actual respectivamente con relación a las variables de estado $s(t)$, en diferentes direcciones y preferentemente, mediante alineaciones sucesivas una junto a otra de la aproximación, llegara también a estados alejados. A fin de no impedir el funcionamiento de la instalación 1 o incluso de estropearla, se seleccionan como meta, únicamente estados dentro de los límites (valores límite S_l , S_h) de las variables de estado $s(t)$, es decir, sólo acciones sobre las que las variables de estado $s(t)$ permanecen previsiblemente dentro de sus límites.

El ordenador 11 inicia regularmente una regulación de perturbaciones "ordinaria", por ejemplo, cada siete días, a más tardar sin embargo, cada cuatro semanas, aproximándose en lo posible, preferentemente a muchos estados distribuidos regularmente, de preferencia dentro de los límites. Si durante la regulación se presenta con frecuencia la misma problemática, el ordenador inicia una regulación de perturbaciones "extraordinaria". Una problemática de

ES 2 313 488 T3

este tipo se presenta por ejemplo, si las variables de estado $s(t)$ tienden frecuentemente hacia un límite (valores límite S_l , S_h), es decir, el valor medio se desvía y/o son necesarias frecuentemente acciones a^i para compensar desviaciones y/u otras contradicciones de las regulaciones sobre valores nominales (metas de optimización r^j) y sobre un proceso estable. En el caso de la regulación de perturbaciones extraordinaria pueden ser aproximados especialmente estados que están adaptados a la problemática desencadenante, por ejemplo, pueden ser seleccionados según la estrategia de solución, en dirección a la problemática o exactamente contrapuestos.

En los dibujos se ha representado un caso a modo de ejemplo, en el que $s(t)$ se mueve permanentemente por encima el valor nominal óptimo S_o (figura 2) y también en las predicciones (fig. 1), especialmente de la predicción a largo plazo por encima del periodo de tiempo $t=t_0$, tiende hacia el valor superior S_h . En el marco de la regulación de conducción se seleccionaría en $t=t_0$, ó $t=t_1$, una acción a^i , que $s(t)$ acerque al valor nominal S_o . Por el contrario, en la regulación de perturbaciones se selecciona también una acción a^i que $s(t)$ acerca al valor límite inferior S_l . Esto se representa con una acción a^i en el momento $t=t_0$ en la figura 3.

Lista de referencias

1	Instalación
3	Horno
5	Dispositivo de observación
7	Sensor
9	Dispositivo de reglaje
11	Ordenador
a^i	Acción
F	Cuerpo flameante
G	Material
L	Aire
r^j	Meta de optimización
$s(t)$	Variable de estado
S_h	Valor límite superior
S_l	Valor límite inferior
S_o	Valor nominal óptimo
t_0, t_1, t_2, t_3	Momento

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para regular un proceso de combustión en una instalación (1), especialmente en una central térmica, en una planta incineradora de residuos o en una fábrica de cemento, en la que el material (G) es convertido suministrando aire (L) mediante el proceso de combustión con formación de al menos un cuerpo flameante (F), determinando la variable de estado ($s(t)$) que describe el estado del sistema en la instalación (1) utilizando al menos un dispositivo de observación (5) que registra en imágenes el cuerpo flameante (F) y otros sensores (7), siendo luego evaluadas en un ordenador (11), después de lo cual, de ser necesario, se seleccionarán acciones (a^i) adecuadas para comandar dispositivos de reglaje (9) para al menos el suministro de material (G) y/o aire (L), regulando durante una regulación de conducción sobre los valores nominales (S_o) de las variables de estado ($s(t)$) y/o sobre una estabilidad del proceso de combustión, **caracterizado** porque temporalmente se cambia de la regulación de conducción a una regulación de perturbaciones, según la cual, se seleccionan acciones (a^i) para aproximarse a estados del sistema en la instalación (1), en los cuales las variables de estado ($s(t)$) dentro de límites preindicados (S_l , S_h), divergen de manera selectiva del valor nominal óptimo (S_o).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque durante la regulación de perturbaciones para cada estado actual, respecto al estado variable ($s(t)$) son aproximados primeramente estados adyacentes.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque se cambia regularmente de la regulación de conducción a una regulación de perturbaciones ordinaria y viceversa.
4. Procedimiento según a reivindicación 3, **caracterizado** porque durante la regulación de perturbaciones ordinaria dentro de los límites preindicados (S_l , S_h) son aproximados en lo posible, estados distribuidos regularmente.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque en caso de presentarse frecuentemente la misma problemática en la regulación, especialmente de una tendencia de las variables de estado ($s(t)$) hacia un límite (S_l , S_h) y/o en caso de necesidad frecuente de acciones (a^i) para compensar desviaciones tendencialmente similares y/o al presentarse otras discrepancias de las regulaciones sobre valores nominales (S_o) de las variables de estado ($s(t)$) y sobre el proceso de combustión estable, se cambia de la regulación de conducción a una regulación de perturbaciones extraordinaria.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado** porque en caso de regulación extraordinaria de perturbaciones son aproximados estados que están adaptados a la problemática desencadenante.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque para la evaluación de las variables de estado ($s(t)$) y la selección de acciones (a^i) se utilizan varios modelos de proceso para conseguir predicciones a corto, mediano y largo plazo para las variables de estado ($s(t)$).
8. Bucle de regulación para realizar un procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en una instalación (1), especialmente en una central térmica, en una planta incineradora de residuos o en una fábrica de cemento, con un tramo (3) para convertir el material (G) suministrando de aire (L) mediante el proceso de combustión con formación de al menos un cuerpo flameante (F), utilizando al menos un dispositivo de observación (5) que registra en imágenes el cuerpo flameante (F) y otros sensores (7) para determinar la variable de estado ($s(t)$) que describe el estado del sistema en la instalación (1) y un ordenador (11) para evaluar las variables de estado ($s(t)$) y de ser necesario, seleccionar acciones (a^i) adecuadas y dispositivos de reglaje (9) controlables mediante las acciones (a^i) para al menos el suministro de material (G) y/o aire (L), regulando el ordenador (11) durante una regulación de conducción sobre valores nominales (S_o) de las variables de estado ($S(t)$) y/o sobre una estabilidad del proceso de combustión, **caracterizado** porque el ordenador (11) cambia temporalmente de la regulación de conducción a una regulación de perturbaciones, seleccionando según estas acciones (a^i) para aproximarse a estados del sistema en la instalación (1), en los cuales las variables de estado ($s(t)$) dentro de límites preindicados (S_l , S_h), divergen de manera selectiva del valor nominal óptimo (S_o).
9. Bucle de regulación según la reivindicación 8, **caracterizado** porque en el ordenador (11) está implementada al menos una red neuronal, la cual almacena respectivamente un modelo de proceso para evaluar las variables de estado ($s(t)$) y seleccionar las acciones (a^i).
10. Bucle de regulación según la reivindicación 9, **caracterizado** porque en el ordenador (11) se encuentran varias redes neuronales con modelos de procesos para predicciones de las variables de estado ($s(t)$) y/o con modelos de proceso a corto-, mediano y largo plazo, que se encuentran en competencia respecto a la calidad de las predicciones.

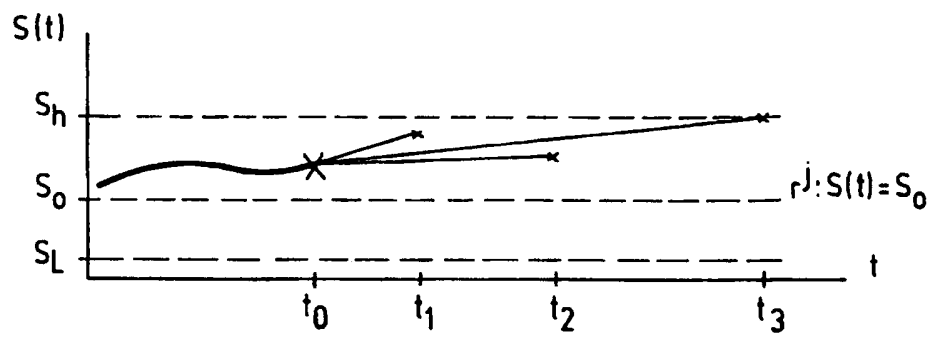


Fig.1

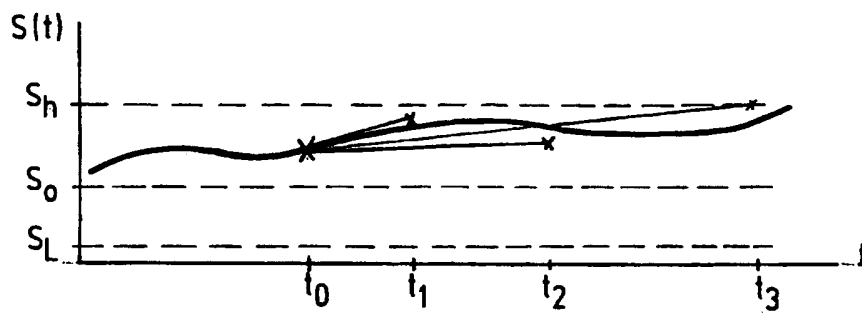


Fig.2

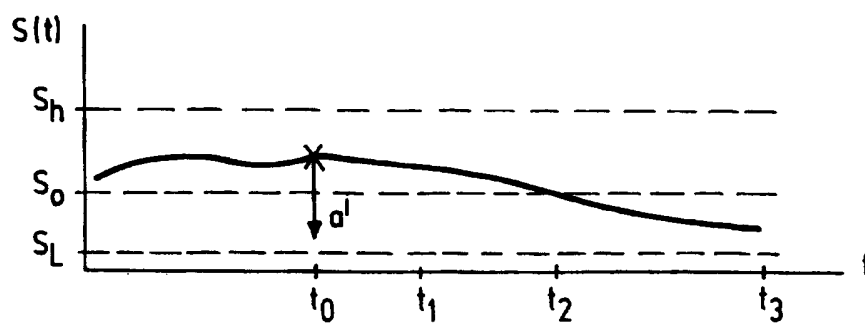


Fig.3

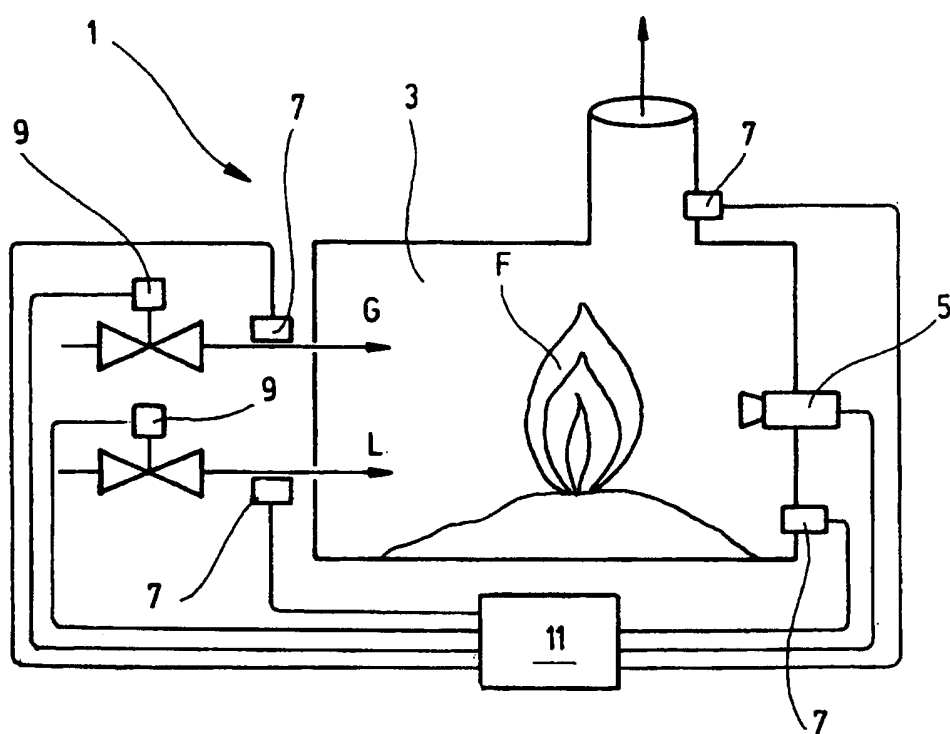


Fig.4