



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 298 309**

51 Int. Cl.:

**G05B 13/04** (2006.01)

**G05B 17/02** (2006.01)

**F22B 35/18** (2006.01)

**F01K 13/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **02011894 .9**

86 Fecha de presentación : **29.05.2002**

87 Número de publicación de la solicitud: **1267229**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **18.12.2002**

54

Título: **Método y dispositivo de control y de regulación para la puesta en servicio y desconexión de un componente de control tecnológico de un proceso técnico.**

30

Prioridad: **16.06.2001 DE 101 29 141**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.05.2008**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.05.2008**

73

Titular/es: **ABB RESEARCH Ltd.**  
**Affolternstrasse 44**  
**8050 Zürich, CH**

72

Inventor/es: **Krüger, Klaus;**  
**Rode, Manfred y**  
**Franke, Rüdiger**

74

Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 298 309 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

Método y dispositivo de control y de regulación para la puesta en servicio y desconexión de un componente de control tecnológico de un proceso técnico.

La invención se refiere a un método de regulación y a un dispositivo de regulación para la realización del método para la puesta en servicio o desconexión de procesos de control tecnológico, por ejemplo, en centrales eléctricas.

Tales métodos se utilizan particularmente para la determinación de magnitudes importantes de entrada, a las que pertenecen guías de valor teórico análogas calculadas anteriormente, por ejemplo, para cantidades de combustible, valores teóricos de presión, temperaturas de vapor y para magnitudes de ajuste importantes de válvulas y puestos de derivación, durante la puesta en servicio o la desconexión de componentes de control tecnológico en centrales eléctricas a los que pertenecen particularmente generadores de vapor con puestos de derivación de vapor y turbinas.

Se conocen métodos modelo en los que se trabaja con un modelo matemático realizado paralelo al proceso para la determinación y corrección de magnitudes de guía, particularmente a partir del documento DE 3 133 222 y G. Kallina, "Vorausschauender Freilastrechner für das optimale Anfahren von Dampferzeugern", VGB Kraftwerkstechnik 75 (1995), cuaderno 7. Se usa un observador de estado que utiliza un simulador para obtener informaciones más rápidas con respecto a la evolución de la tensión térmica a partir de la temperatura de diferencia entre la fibra interna y central de un componente grueso. Estos valores de estado son adecuados para observar en un segundo simulador las evoluciones del valor umbral y los posibles valores de guía. El segundo simulador trabaja entonces aproximadamente 10 veces más rápido que el primer simulador, y por tanto, más rápido que a tiempo real. La determinación de los datos del proceso se realiza de forma continua durante la puesta en servicio o la desconexión.

En la descripción del funcionamiento es evidente que la determinación de las magnitudes de guía se realiza de forma prospectiva para un intervalo temporal limitado. La entrada de combustible se obtiene por la consideración de los valores umbral predeterminados. Se hace referencia a que la inyección de agua se realiza solamente al final de un proceso de puesta en servicio.

Una desventaja de este método consiste en que se intenta solucionar al mismo tiempo el comportamiento de guía y de magnitud perturbadora, por lo que no se consigue una calidad de regulación que se puede conseguir de forma óptima. Por el gran requerimiento de tiempo de cálculo, provocado por la utilización de un segundo simulador que trabaja 10 veces más rápido que a tiempo real, al sistema de ordenador utilizado se plantean requerimientos de potencia correspondientemente elevados.

Las curvas de puesta en servicio y desconexión proporcionadas por los proveedores de caldera o proveedores del proceso se basan en su mayoría en observaciones estacionarias. No se utilizan métodos de optimización numéricos para mejorar el procedimiento de puesta en servicio/desconexión.

Partiendo de procesos modelo en los que se trabaja con un modelo matemático realizado paralelo al proceso para la determinación y corrección de magnitudes de guía, la invención tiene el objetivo de realizar, con ayuda de un dispositivo de regulación un método para la determinación de magnitudes de entrada importantes durante la puesta en servicio o desconexión de componentes de control tecnológico de procesos técnicos, desacoplar el comportamiento de guía y de magnitud perturbadora y conseguir una conmutación de posiciones teóricas óptimas durante el proceso, particularmente durante la puesta en servicio o la desconexión. Además se debe indicar un dispositivo de regulación para la realización del método.

Este objetivo se resuelve mediante un método de control y regulación para la puesta en servicio o desconexión de procesos de control tecnológico por controles previos óptimos apoyados por modelos con las características indicadas en la reivindicación 1 y por un dispositivo de regulación con las características indicadas en la reivindicación 8. Se indican configuraciones ventajosas de la invención en reivindicaciones adicionales.

Con ayuda de optimizaciones y simulaciones realizadas fuera de línea se ensaya en primer lugar el potencial de mejora mediante guías de valor teórico adecuadas, particularmente curvas de puesta en servicio y a continuación se aplica a la instalación real. Las guías de valor teórico calculadas se denominan en lo sucesivo controles previos apoyados por modelo. Se realiza la combinación de una formación de modelo rigurosa, dinámica y la mayoría de las veces no lineal con una optimización numérica realizada fuera de línea teniendo en cuenta condiciones límite o secundarias de control tecnológico, particularmente limitaciones de control tecnológico-físicas que se aplican después al proceso real.

En un cálculo fuera de línea en primer lugar se calcula la evolución óptima de magnitud de ajuste y de guía para la regulación convencional a nivel inferior para conseguir el objetivo de la puesta en servicio optimizada en cuanto a costes con las condiciones secundarias dadas. En este documento también se tiene en cuenta el consumo mínimo de combustible como condición secundaria. Para ello se utiliza un modelo de proceso riguroso dinámico del presente sistema. Al mismo se aplica un criterio de optimización y se calcula dependiendo de las condiciones secundarias predeterminadas las evoluciones óptimas de las variables de optimización.

## ES 2 298 309 T3

Después de la determinación de las magnitudes no medibles por un modelo suficientemente exacto del proceso observado por métodos matemático-físicos o por evaluación de parámetros medidos y características constructivas en el proceso real, se realiza la formulación de una función de calidad. Con ayuda de un método de optimización numérico adecuado en el optimizador, que usa explícitamente el modelo de proceso matemático, se minimiza o maximiza la función de calidad. Para esto se recurre a las condiciones límite y secundarias del proceso que se tienen que observar, que se tienen que mantener durante la optimización. El resultado son posiciones teóricas optimizadas para las magnitudes de entrada observadas del modelo del proceso. El resultado de esta optimización reproduce las magnitudes de influencia del proceso observado. Después de la comprobación de las posiciones teóricas calculadas usando el modelo de proceso por simulación (fuera de línea) se realiza su conmutación durante la puesta en servicio o desconexión del proceso real.

En instalaciones que ya están en funcionamiento, el modelo de proceso también se identifica a partir de mediciones o se comprueba mediante tales mediciones. En parte también se necesitan datos constructivos del componente de control tecnológico como, a modo de ejemplo, datos de geometría y de materiales. Mediante optimizaciones realizadas fuera de línea y simulaciones se ensaya el potencial de mejora por nuevas guías de valor teórico, por ejemplo, mediante curvas de puesta en servicio, y a continuación se aplica a la instalación real.

Mediante el control previo apoyado por modelo se consigue una mejora de la dinámica con respecto al comportamiento de guía, donde el control previo no influye en la estabilidad del circuito de regulación subyacente. Por tanto, existen dos grados de libertad en la optimización de comportamientos de guía y de magnitud perturbadora. De este modo se protegen los elementos de ajuste y se produce una descarga de los circuitos de regulación convencionales, ya que solamente tienen que regular la desviación de la evolución óptima. Una ventaja adicional consiste en la posibilidad de diseñar y optimizar el control previo y la regulación independientemente entre sí. Si un regulador ya está ajustado de forma óptima con respecto al comportamiento de magnitud perturbadora existe la posibilidad de introducir un control previo apoyado por modelo sin volver a parametrizar este regulador nuevamente.

Para un control previo apoyado por modelo, además de las magnitudes de guía también se consideran magnitudes perturbadoras cuando las mismas están disponibles en la técnica de medición. Para la generación de magnitudes de guía en línea superpuestas se utiliza un circuito de regulación en el que se usa el optimizador como regulador. Los requerimientos en tiempo real disminuyen considerablemente y el circuito de regulación no se tiene que accionar necesariamente con el mismo tiempo de exploración que las regulaciones subyacentes, ya que principalmente solamente se realiza una adaptación de las evoluciones teóricas calculadas originariamente.

También se obtienen ventajas con respecto al estado de la técnica mencionado (véase documento DE 3 133 222 y G. Kallina "Vorausschauender Freilastrechner für das optimale Anfahren von Dampferzeugern", VGB Kraftwerkstechnik 75 (1995), cuaderno 7) porque se puede realizar el cálculo de la tensión térmica de forma separada con el método de acuerdo con la invención.

Si el requerimiento de combustible se tiene en cuenta explícitamente en el criterio de optimización, es posible una puesta en servicio óptima con respecto a los costes. Como resultado de la optimización puede suceder que la inyección de agua de los generadores de vapor tenga que realizarse incluso durante la puesta en servicio. Este efecto también se puede manifestar en el requerimiento de combustible. Para acortar todo el tiempo de puesta en servicio y desconexión y, por tanto, disminuir los costes de combustibles, también se utilizan cantidades libres presentes, por ejemplo, en las tensiones térmicas no estacionarias de componentes de pared gruesa.

A continuación se realiza una explicación adicional de la invención mediante un ejemplo de realización representada en las figuras del dibujo.

Se muestra:

En la Fig. 1, una representación de un dispositivo de regulación con control previo apoyado por modelo,

En la Fig. 2, una representación de un dispositivo de regulación ya existente con valores teóricos presentes y control previo apoyado por modelo,

En la Fig. 3, una simulación de una puesta en servicio típica de un generador de vapor, y

En la Fig. 4, una simulación de una puesta en servicio optimizada de un generador de vapor.

La Fig. 1 muestra la disposición de acuerdo con la invención para la realización del método de regulación para la puesta en servicio o la desconexión de al menos un componente de control tecnológico de un proceso tecnológico 4, en la que mediante un dispositivo de regulación 3 se forma al menos una magnitud de salida D4 y con un control previo 5 apoyado por modelo preconnectado, al menos una magnitud de ajuste D2 que se suministra al proceso 4 por un sitio de adición 6 como magnitud de ajuste final D6.

Para el control previo 5, además de una magnitud de guía D1 que refleja la magnitud final D7 del proceso real 4, también se considera la magnitud de salida del modelo D3 como magnitud de guía para el dispositivo de regulación 3. En el uso concreto del control previo 5 se diferencia entre dos variables de utilización.

## ES 2 298 309 T3

- a) En el primer caso la magnitud de ajuste del modelo D2 optimizada y la magnitud de salida del modelo D3, que reflejan los valores teóricos actuales de las regulaciones reales, están presentes como especificaciones numéricas (por ejemplo, tablas de consulta (look-up)) que, calculadas anteriormente, se almacenan de forma adecuada y se introducen durante la puesta en servicio o la desconexión en el proceso real 4 como flujo de datos D6.
- b) En el segundo caso, esta optimización y simulación del modelo de proceso 2 se realiza de forma repetitiva durante la puesta en servicio o la desconexión. Para esto, el modelo del proceso 2 sigue a la instalación real para conseguir una convergencia de la magnitud de salida del modelo D3 con la magnitud de salida del proceso D7.

El control previo 5, que contiene un optimizador 1 y un modelo de proceso 2, pone a disposición la magnitud de salida del modelo optimizada D3 para la regulación real, es decir, el dispositivo de regulación 3. Para esto, al optimizador 1 se suministra una magnitud de guía D1 para el proceso real 4 y sale una magnitud de ajuste del modelo optimizada D2 que se suministra al modelo del proceso 2 del control previo 5 como magnitud de entrada, y además, se suma a la magnitud de salida D4 del dispositivo de regulación 3 para la formación de la magnitud de ajuste D6. La magnitud de salida del modelo D3 del modelo de proceso 2 se suministra al dispositivo de regulación 3 como valor teórico y, además, se vuelve a suministrar al optimizador 1 además de magnitudes internas D5 particularmente no medibles en el proceso real 4.

El seguimiento del modelo del proceso 2 del proceso real 4 para la segunda variante de utilización b) se realiza por las magnitudes del proceso D7 medibles. De este modo se pueden eliminar desviaciones entre el modelo del proceso 2 y el proceso real 4, particularmente con la aparición de magnitudes perturbadoras D8 en el proceso real 4.

La Fig. 2 muestra la disposición de acuerdo con la invención en el caso de que el control previo 5 se utilice para un proceso que ya dispone de un dispositivo de regulación 3 y de valores teóricos conocidos D10. Para esto, al modelo de proceso 2 se tienen que suministrar los valores teóricos ya presentes D10. Las magnitudes de salida del modelo D3 se corrigen entonces en un sitio de adición 7 con los valores teóricos ya presentes D10. Los valores teóricos D9 resultantes se suministran finalmente al dispositivo de regulación 3.

Leyenda para las representaciones de las curvas de la Fig. 3 y de la Fig. 4:

$\dot{m}_{BR}$ : caudal en masa de combustible [kg/s]

$Y_E$ : posición de la válvula de regulación de inyección,

$Y_T$ : posición del puesto de derivación de turbina,

$\dot{m}_D$ : caudal en masa de vapor en la salida de la caldera [kg/s]

$p_D$ : presión de vapor en la salida de caldera [bar]

$T_D$ : temperatura de entrada de vapor antes del último sobrecalentamiento [°C]

$\sigma_A$ : tensión térmica en el acumulador de salida [N/mm<sup>2</sup>]

$\sigma_T$ : tensión térmica en el tambor [N/mm<sup>2</sup>].

La Fig. 3 ilustra la simulación de una puesta en servicio típica de un generador de vapor con las posiciones ( $Y_E$ ,  $Y_T$ ) de la válvula de regulación de inyección y del puesto de derivación de turbina. La cantidad de combustible ( $\dot{m}_{BR}$ ) se aumenta en forma de rampa en el intervalo de 10 000 s. El objetivo es el aumento de la presión de vapor ( $p_D$ ), de la temperatura de vapor ( $T_D$ ) y de la cantidad de vapor ( $\dot{m}_D$ ) partiendo de los valores estacionarios  $p_D \approx 0,1$  MPa,  $T_D \approx 146^\circ\text{C}$  y  $\dot{m}_D \approx 0$  kg/s hasta sus valores diana de 15 MPa para  $p_D$ ,  $520^\circ\text{C}$  para  $T_D$  y 163 kg/s para  $\dot{m}_D$ . Se aplican entre otras cosas dos evoluciones de las tensiones térmicas ( $\sigma_A$ ,  $\sigma_T$ ) del acumulador de salida. El gran tiempo de puesta en servicio de 10 000 s se obtiene a partir del requerimiento de mantener las tensiones térmicas en los límites admisibles.

La Fig. 4 muestra una simulación para una puesta en servicio optimizada de un generador de vapor manteniendo límites predeterminados, que ha finalizado después de 2 500 s, es decir, se realiza cuatro veces más rápida que la puesta en servicio representada en la Fig. 3. Además de esto, el consumo de combustible que se representa como área bajo la curva desde  $\dot{m}_{BR}$  hasta alcanzar los valores estacionarios después de 10 000 s en la Fig. 3 o 2 500 s en la Fig. 4, durante la puesta en servicio optimizada en la Fig. 4 es aproximadamente tres veces menor que el de la Fig. 3. A diferencia de la Fig. 3, las cantidades libres para las tensiones térmicas ( $\sigma_A$ ,  $\sigma_T$ ) se utilizan completamente. Para ello se conmutan, de acuerdo con la Fig. 1, las posiciones teóricas optimizadas para combustible, presión y temperatura de vapor y los controles previos para la válvula de regulación de inyección y el puesto de derivación de turbinas para la simulación. Durante la determinación de estas guías de valor teórico optimizadas se minimizó una función de calidad (J) por una optimización numérica.

## ES 2 298 309 T3

A modo de ejemplo, a continuación se mencionan la función de calidad y las condiciones límite y secundarias que han conducido a las evoluciones óptimas de acuerdo con la Fig. 4. Como función de calidad se seleccionó la siguiente integral:

$$J = \int_{t_0}^{t_E} \left[ W_{p_D}, W_{T_D}, W_{\dot{m}_D} \right] \begin{bmatrix} \left[ p_D(t) - p_{D,SW} \right]^2 \\ \left[ T_D(t) - T_{D,SW} \right]^2 \\ \left[ \dot{m}_D(t) - \dot{m}_{D,SW} \right]^2 \end{bmatrix} dt$$

Para ello se seleccionó como el objetivo de la optimización la minimización de la función de calidad J. Las variables de la función de calidad tienen el siguiente significado

J: valor de la integral por las desviaciones al cuadrado ponderadas,

$t_0$ : momento de comienzo de la puesta en servicio

$t_E$ : momento de finalización de la puesta en servicio,

$W_{p_D}$ : factor de ponderación para la desviación al cuadrado presión de vapor,

$W_{T_D}$ : factor de ponderación para la desviación al cuadrado temperatura de vapor,

$W_{\dot{m}_D}$ : factor de ponderación para la desviación al cuadrado cantidad de vapor,

$p_{D,SW}$ : valor teórico objetivo para la presión de vapor

$T_{D,SW}$ : valor teórico objetivo para la temperatura de vapor

$\dot{m}_{D,SW}$ : valor teórico objetivo para la cantidad de vapor

manteniendo las siguientes condiciones límite y secundarias:

$$0 \text{ [kg/s]} \leq \dot{m}_{BR} \leq 50,04 \text{ [kg/s]},$$

$$0 \text{ [kg/s}^2\text{]} \leq \ddot{m}_{BR} \leq 0,00053 \text{ [kg/s}^2\text{]} \quad (\text{cantidad de combustible que aumenta de forma monótona}).$$

- $0,05 \leq Y_T \leq 1$  (intervalo de graduación de la derivación de la turbina),

- $0 \leq Y_E \leq 1$  (intervalo de graduación de la válvula de regulación de inyección),

- $\max|\sigma_A| \leq 7 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  (valor máximo para la tensión térmica en el acumulador de salida),

- $\max|\sigma_T| \leq 10 \text{ [N/mm}^2\text{]}$  (valor máximo para la tensión térmica en el tambor),

- $T_{D,E}(t) > T_{sat} = f(p_D)$  (la temperatura de entrada de vapor antes del último sobrecalentamiento  $T_{D,E}(t)$  debe ser mayor que la temperatura de vapor saturado  $T_{sat}$ , que es una función de la presión de vapor  $p_D$ ).

- $T_D(t) > T_{D,E}(t)$  (sobrecalentamiento garantizado, es decir, la temperatura de salida del último sobrecalentamiento es mayor que la temperatura de entrada)

Las variables de optimización son la cantidad de combustible  $\dot{m}_{BR}$ , la posición del puesto de derivación de turbina  $Y_T$  y la posición de la válvula de regulación de inyección  $Y_E$ . Estas magnitudes se corresponden a las magnitudes de ajuste D2 en la Fig. 1. Las magnitudes del modelo del proceso  $\dot{m}_D$ ,  $T_D$ ,  $T_{D,E}$  y  $p_D$  en las Figs. 3 y 4 que se corresponden a las magnitudes de salida en el modelo D3 en la Fig. 1 se determinan por simulación, es decir, por la conmutación de magnitudes de ajuste D2 en el modelo del proceso.

En aplicaciones prácticas no solamente se usan tensiones térmicas, sino también diferencias de temperatura en el componente de pared gruesa. Estas diferencias de temperatura se detectan por elementos térmicos invasivos. El método presentado entonces también se puede usar del mismo modo.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método de control y regulación para la puesta en servicio o desconexión de al menos un componente de control tecnológico de un proceso técnico (4), en el que
- 10 a) mediante un dispositivo de regulación (3) y un control previo (5) preconectado apoyado por modelo se forma al menos una magnitud de ajuste (D6) que se suministra al proceso (4),
  - 15 b) por un optimizador (1) del control previo (5), al que se suministra al menos una magnitud de guía (D1) para el proceso real (4), sale al menos una magnitud de ajuste de modelo optimizada (D2) que se suministra a un modelo de proceso (2) del control previo (5) como magnitud de entrada, y además, se suma a al menos una magnitud de salida (D4) del dispositivo de regulación (3) para la formación de la magnitud de ajuste (D6),
  - 20 c) al menos una magnitud de salida del modelo (D3) del modelo de proceso (2) se suministra al dispositivo de regulación (3) como valor teórico y además se vuelve a suministrar al optimizador (1), además de magnitudes internas (D5) particularmente no medibles en el proceso real,
  - 25 d) la magnitud de salida del modelo (D3) se forma mediante el modelo de proceso (2), donde el modelo de proceso (2) sigue al proceso real (4),
  - e) el comportamiento de guía del dispositivo que comprende el control previo (5), el dispositivo de control (3) y el proceso real (4), durante la modificación de las magnitudes de guía (D1) se desacopla del comportamiento de magnitud perturbadora del proceso real (4) durante la acción de las magnitudes perturbadoras (D8).
- 30 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la determinación del modelo del proceso observado en el optimizador se realiza por formulación de una función de calidad por métodos matemáticos-físicos, y la función de calidad se maximiza o minimiza con ayuda de un método de optimización adecuado.
- 35 3. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque la combinación de una formación de modelo rigurosa dinámica con una optimización realizada se usa teniendo en cuenta condiciones límite y secundarias, particularmente limitaciones de la técnica de control-físicas, en el proceso real.
- 40 4. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque para la reproducción del modelo del proceso (2) se usa al menos una magnitud de salida (D7) medible del proceso real (4).
- 45 5. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque en el caso de instalaciones que ya se encuentran en funcionamiento, el modelo del proceso (2) se identifica completamente o parcialmente a partir de mediciones o se comprueba mediante tales mediciones.
- 50 6. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque para el caso de que el componente de control tecnológico sea un generador de vapor con inyección de agua, se realiza la inyección incluso antes de la finalización de la puesta en servicio para posibilitar una puesta en servicio optimizada en costes manteniendo las presentes limitaciones.
- 55 7. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque mediante el control previo (5) se actúa de forma correctora sobre un dispositivo de regulación (3) presente en el proceso.
- 60 8. Un dispositivo de regulación para la puesta en servicio o desconexión de al menos un componente de control tecnológico de un proceso técnico (4), en el que hay un control previo (5) que contiene un optimizador (1) y el modelo del proceso (2) y cuya magnitud de salida del modelo optimizada (D3) se suministra a un dispositivo de regulación real (3), y una magnitud de ajuste del modelo (D2) del optimizador (1) se suma en la salida del dispositivo de regulación (3) en un sitio de adición (6).
- 65 9. El dispositivo de regulación de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el control previo (5) se utiliza para un proceso que ya dispone de un dispositivo de regulación (3) y de valores teóricos conocidos (D10) y al modelo del proceso (2) se suministran valores teóricos ya presentes, las magnitudes de salida del modelo (D3) se corrigen en un sitio de adición adicional (7) con los valores teóricos ya presentes (D10) y los valores teóricos resultantes (D9) se suministran al dispositivo de regulación (3).

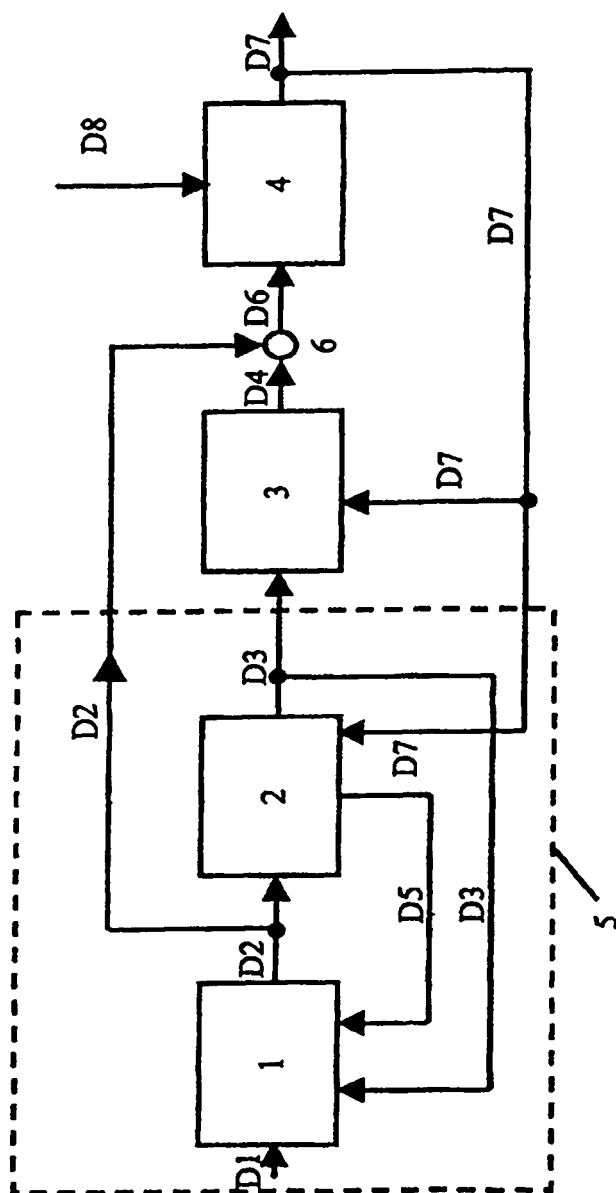


Fig. 1

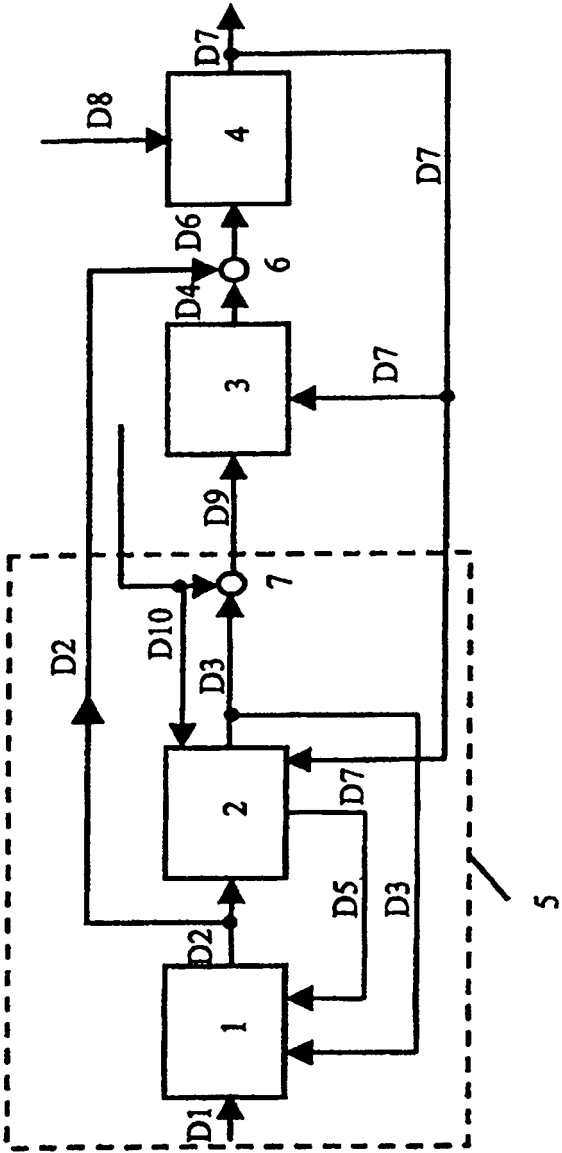


Fig. 2

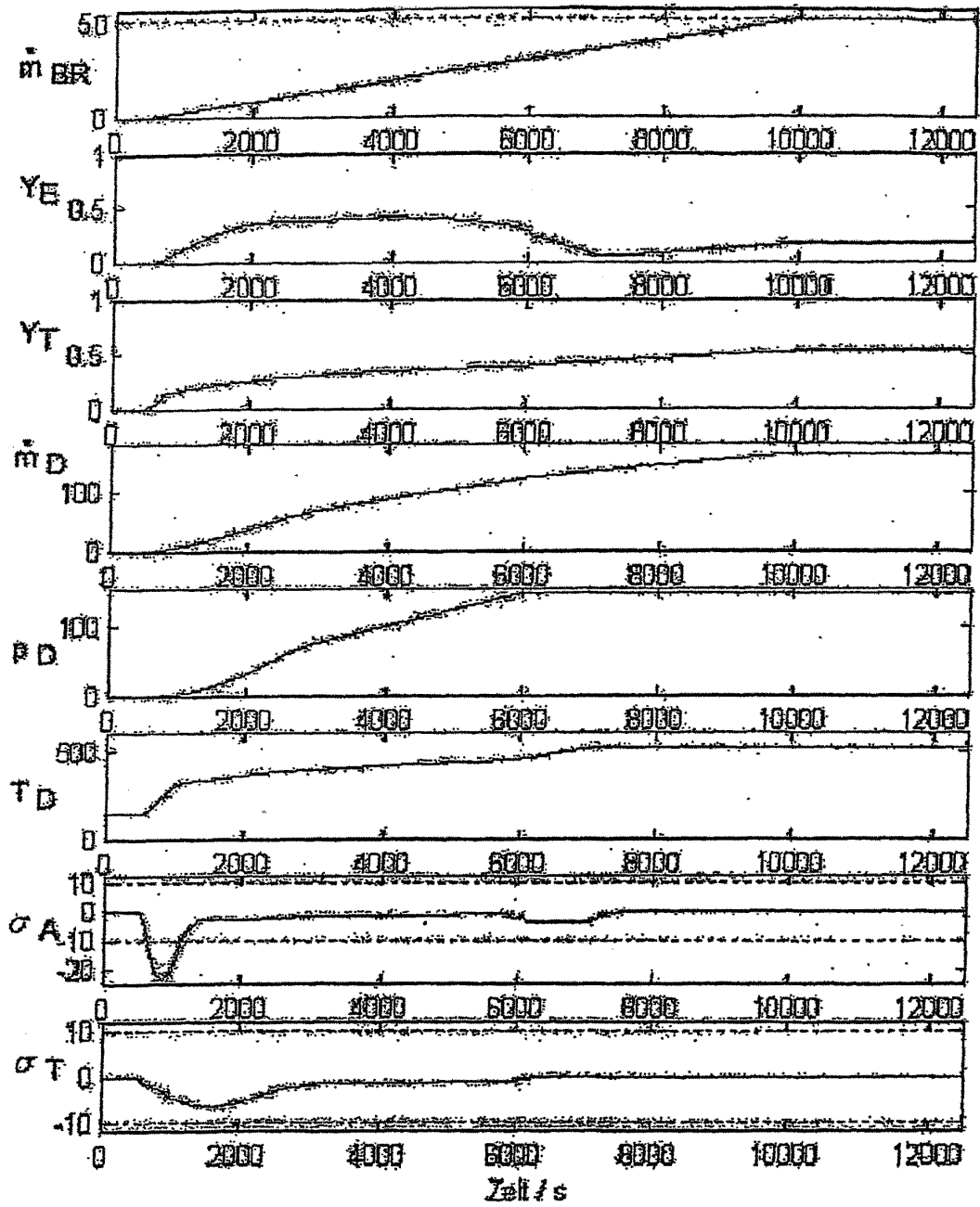


Fig. 3

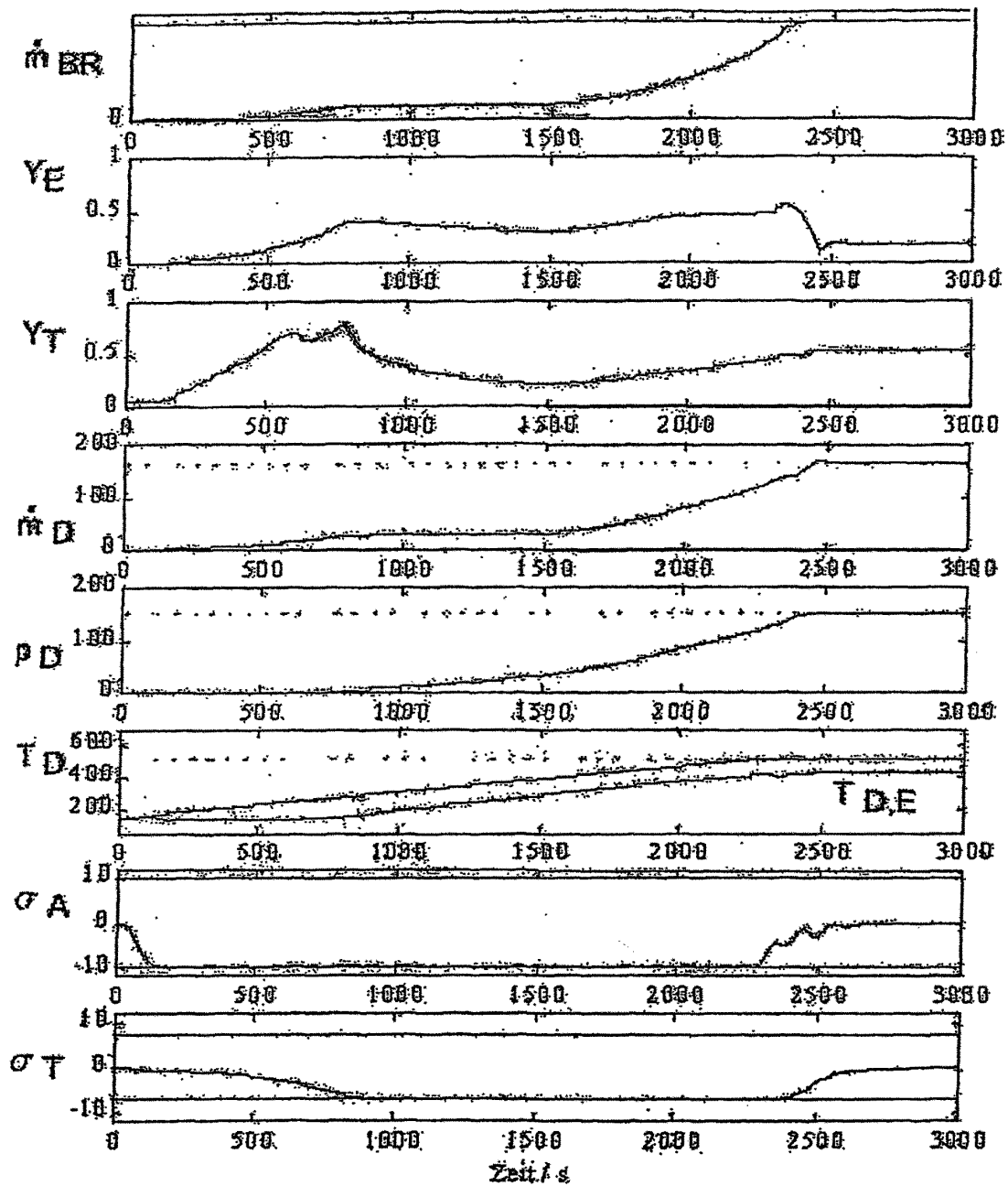


Fig. 4