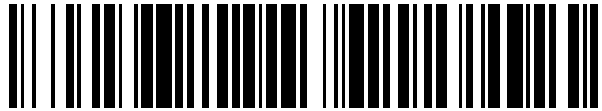


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 399 756**

51 Int. Cl.:

**F22B 35/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2005 E 05766740 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.01.2013 EP 1766288**

54 Título: **Método para el funcionamiento de un generador de vapor continuo**

30 Prioridad:

**09.07.2004 EP 04016248**

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

**03.04.2013**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Wittelsbacherplatz 2  
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**BUTTERLIN, AXEL;  
KRAL, RUDOLF y  
THOMAS, FRANK**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 399 756 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 para el funcionamiento de un generador de vapor continuo

5 La presente invención hace referencia a un método para el funcionamiento de un generador de vapor continuo con una superficie de calentamiento del evaporador, a un precalentador conectado aguas arriba a la superficie de calentamiento del evaporador del lado del fluido, así como a un dispositivo para la regulación del caudal másico del agua de alimentación  $\dot{M}$  hacia la superficie de calentamiento del evaporador.

Un método de esta clase se revela, por ejemplo, en la patente US-A-3196844.

10 En un generador de vapor continuo, el calentamiento de una pluralidad de tubos del generador de vapor, que en conjunto conforman la pared exterior hermética al gas de la cámara de combustión, conduce a una evaporación completa del fluido en los tubos del generador de vapor en una sección de paso. El fluido, convencionalmente agua, previamente a su evaporación es alimentado a un precalentador conectado aguas arriba a la superficie de calentamiento del evaporador del lado del fluido, convencionalmente también denominado economizador, y en dicho punto se realiza un calentamiento previo.

15 Dependiendo del estado de funcionamiento del generador de vapor continuo y, de esta manera, dependiendo de la capacidad actual del generador de vapor, se regula el caudal másico del agua de alimentación hacia la superficie de calentamiento del evaporador. Ante variaciones de carga, el flujo del evaporador y el aporte térmico a la superficie de calentamiento del evaporador deben variar de la manera más sincronizada posible dado que, de lo contrario, no se puede evitar de manera certera que se supere la entalpía específica del fluido en la salida de la superficie de calentamiento del evaporador. Una superación no deseada de la entalpía específica, dificulta el control de la temperatura del vapor vivo que sale del generador de vapor y, por otra parte, conduce a esfuerzos elevados del material y, de esta manera, a una vida útil reducida del generador de vapor.

20

Para evitar que se supere la entalpía específica y que se generen grandes fluctuaciones de temperatura en cada estado de funcionamiento del generador de vapor, se proporciona una unidad de control del flujo del agua de alimentación que también en el caso de cambios de carga, proporciona los valores teóricos necesarios en relación con el estado de funcionamiento.

25

De la patente EP 0639 253 se conoce un generador de vapor continuo en el que el flujo de agua de alimentación se regula mediante un cálculo previo de la cantidad de agua de alimentación. Como base para el método de cálculo, se utiliza el balance del flujo térmico de la superficie de calentamiento del evaporador, en el que se incluye el caudal másico del agua de alimentación, particularmente en la entrada de la superficie de calentamiento del evaporador.

30 En la práctica, sin embargo, la medición del caudal másico del agua de alimentación directamente en la entrada de la superficie de calentamiento del evaporador, resulta costosa en términos técnicos y no se puede realizar de manera fiable en todos los estados de funcionamiento. En lugar de ello, como alternativa, el caudal másico del agua de alimentación se mide en la entrada del precalentador, y se incluye en los cálculos de la cantidad de agua de alimentación, que no siempre es igual al caudal másico del agua de alimentación en la entrada de la superficie de calentamiento del evaporador.

35

Cuando varía la temperatura del medio que fluye hacia el precalentador, o cuando debido a una variación de aporte térmico varía la densidad del fluido en el interior del precalentador, se generan efectos de carga o de descarga de masa en el precalentador, y el caudal másico del agua de alimentación en la entrada del precalentador no es idéntico al caudal másico en la entrada de la superficie de calentamiento del evaporador. Si dichos efectos de carga o descarga no se consideran o sólo se consideran de manera insuficiente en la regulación del flujo del agua de alimentación, se puede generar la mencionada superación de la entalpía específica y, de esta manera, se pueden generar grandes fluctuaciones de la temperatura del fluido en la salida de la superficie de calentamiento del evaporador.

40

Además, la variable de las fluctuaciones de la temperatura depende de la velocidad del cambio de carga y en el caso de un cambio de carga rápido, resulta particularmente elevada. Por lo tanto, hasta el momento resultaba necesaria una limitación de la velocidad del cambio de carga y, de esta manera, la aceptación por defecto de una eficacia reducida del generador de vapor. Por otra parte, los cambios de carga rápidos y que no se pueden controlar, que se presentan en las perturbaciones eventuales del funcionamiento, reducen la vida útil del generador de vapor.

50 Por consiguiente, el objeto de la presente invención consiste en proporcionar un método para el funcionamiento de un generador de vapor de la clase mencionada anteriormente, que permita una variación considerablemente sincronizada del caudal másico del agua de alimentación a través de la superficie de calentamiento del evaporador,

y del aporte térmico a la superficie de calentamiento del evaporador en todos los estados de funcionamiento, sin costes técnicos considerables.

Dicho objeto se resuelve conforme a la presente invención, mediante el hecho de que el dispositivo para la regulación del caudal másico del agua de alimentación  $\dot{M}$  se asocia a un dispositivo de control, cuya variable de control es el caudal másico del agua de alimentación  $\dot{M}$ , y cuyo valor teórico  $\dot{M}_s$  para el caudal másico del agua de alimentación depende de un valor teórico L asociado a la capacidad del generador de vapor, en donde al dispositivo de control se proporciona, como una de las variables de entrada, el valor real  $\rho_E$  de la densidad del agua de alimentación en la entrada del precalentador.

La presente invención se basa en la consideración de que para la variación sincronizada del caudal másico del agua de alimentación y del aporte térmico a la superficie de calentamiento del evaporador, se debe realizar un balanceo del flujo térmico de la superficie de calentamiento del evaporador. De manera óptima, en la entrada de la superficie de calentamiento del evaporador, se debe prever una medición del caudal másico del agua de alimentación. Dado que, sin embargo, la medición directa del caudal másico del agua de alimentación en la entrada de la superficie de calentamiento del evaporador, no resulta fiable, dicha medición se realiza ahora en un punto antepuesto apropiado del lado del propio medio, es decir, en la entrada del precalentador. Dado que, sin embargo, los efectos de carga y de descarga de masa que se pueden presentar en el precalentador, podrían alterar el valor de medición, dichos efectos se deben compensar de una manera apropiada. Para ello, se debe realizar un cálculo del caudal másico del agua de alimentación en la entrada de la superficie de calentamiento del evaporador, mediante otras variables de medición simples de obtener. Las variables de medición particularmente apropiadas para la corrección del valor de medición para el caudal másico del agua de alimentación, obtenido en la entrada del precalentador, son la densidad media del fluido en la superficie de calentamiento del precalentador y su variación en el tiempo.

Para un cálculo particularmente preciso del flujo térmico a través de la superficie de calentamiento del evaporador, y también para una corrección posterior particularmente precisa del valor de medición para el caudal másico del agua de alimentación, se prevé de manera ventajosa la detección adicional de la densidad del fluido en la salida de la superficie de calentamiento del precalentador. De esta manera, se permite una detección particularmente precisa y, por consiguiente, también la consideración de los efectos de carga y descarga mencionados. En un perfeccionamiento ventajoso, adicional o alternativo, se utiliza como valor teórico  $\dot{M}_s$  para el caudal másico del agua de alimentación, la expresión  $\dot{M} + \Delta \bar{\rho} \cdot V$ , en donde  $\dot{M}$  es el valor real del caudal másico del agua de alimentación en la entrada del precalentador,  $\Delta \bar{\rho}$  es la variación en el tiempo de la densidad media del fluido en el precalentador, y V es el volumen del precalentador. Mediante el aporte  $\Delta \bar{\rho} \cdot V$  se estiman los efectos de carga y de descarga mencionados.

Cuando el aporte térmico en el fluido es estacionario en el interior del precalentador, es decir, que no varía en el tiempo, para el cálculo del valor teórico  $\dot{M}_s$  se utiliza en lugar de la densidad media  $\bar{\rho}$ , aproximadamente la densidad  $\rho_E$  del fluido en la entrada del precalentador. En este caso, se puede establecer la variación en el tiempo: de la densidad  $\rho_E$  igual a la variación en el tiempo de la densidad media  $\bar{\rho}$ , de manera que no resulte necesaria una detección adicional de la densidad  $\rho_A$  del fluido en la salida de la superficie de calentamiento del evaporador.

En el cálculo del valor teórico  $\dot{M}_s$  para el caudal másico del agua de alimentación, se debe considerar que la señal de la variación de densidad de entrada se debe retardar en correspondencia con el tiempo de recorrido del sistema, cuando en lugar de la densidad media  $\bar{\rho}$  se utiliza, aproximadamente, la densidad  $\rho_E$  del fluido en la entrada del precalentador. Por lo tanto, el valor real  $\rho_E$  de la densidad de entrada, se convierte de manera ventajosa, mediante un elemento diferenciador convencional en la técnica de control, con un comportamiento PT1, en una variación de densidad de entrada retardada con el tiempo de recorrido del precalentador como una constante de tiempo.

Sin embargo, particularmente en el caso de una variación del calentamiento en el precalentador, es decir, de un aporte térmico no estacionario en el fluido en el interior del precalentador, por ejemplo, en el caso de un cambio de carga, no se puede realizar el cálculo de la densidad media  $\bar{\rho}$ , y su variación en el tiempo  $\Delta \bar{\rho}$  sólo mediante la utilización aproximada de la densidad de entrada. Dado que en la media aritmética se incluyen, respectivamente, a medias  $\rho_E$  y  $\rho_A$  en el cálculo de  $\bar{\rho}$ , en el caso de un aporte térmico no estacionario, aunque con una densidad de entrada constante  $\rho_E$ , la media variación de la densidad de salida  $\rho_A$  se utiliza como coeficiente para la variación de densidad en el precalentador.

También en este caso, la conformación de la derivada en el tiempo de la señal de densidad, se realiza mediante un elemento diferenciador. Dado que una variación de la densidad de salida es posterior en el tiempo al efecto de almacenamiento de masa en el precalentador, la señal de densidad se retarda  $PT_1$  de manera ventajosa con una constante de tiempo relativamente reducida de aproximadamente un segundo.

5 Mediante una detección por separado de las densidades del fluido en la entrada y en la salida del precalentador, se pueden considerar de esta manera los efectos de carga y de descarga de agua de alimentación en el precalentador, y se puede adaptar de una manera simple el valor teórico del flujo del agua de alimentación al estado de funcionamiento del generador de vapor.

10 De esta manera, se logra un control particularmente preciso del generador de vapor, también en los casos en que la temperatura del agua de alimentación varía de manera brusca previamente a la entrada al precalentador. Esto podría ocurrir, por ejemplo, debido al fallo repentino de una sección de precalentamiento externa conectada previamente al precalentador. En el caso de un fallo de esta clase, se impone la variación brusca de la densidad del fluido en la entrada del precalentador, de una manera considerablemente inalterada, hasta la salida. La variación de la densidad media  $\bar{\rho}$  del fluido en el precalentador, se detecta completamente, sin embargo, mediante la variación de la densidad en la entrada del precalentador, de manera que la variación de la densidad en la salida de la superficie de calentamiento del evaporador, ya no permite una repercusión en la corrección calculada para el valor teórico  $\dot{M}_s$  del caudal másico del agua de alimentación. Por lo tanto, se prevé, preferentemente, un circuito de corrección que en este caso compense la reacción del elemento  $DT_1$ , que diferencia y retarda la señal de densidad en la salida del precalentador. De manera ventajosa, la señal de densidad de entrada se conecta con un elemento de retardo que presenta una constante de tiempo en relación al tiempo de recorrido del precalentador, en correspondencia con una constante de tiempo en relación con la térmica del precalentador retardada  $PT_1$ , y la señal generada de esta manera es la señal de densidad de salida lanzada como señal negativa.

Dicho circuito de corrección logra, en todo caso, una estimación correcta de las variaciones de densidad:

25 En el caso de una variación brusca de la temperatura del medio afluente, no se estima la variación de la densidad de salida  $\rho_A$  como se ha descrito. Sin embargo, si la densidad de entrada  $\rho_E$  permanece constante, varía el aporte térmico en el precalentador y, de esta manera, la densidad de salida  $\rho_A$ , en la salida del precalentador no se realiza corrección alguna, y el efecto de la variación del aporte térmico se estima completamente en el cálculo del valor teórico  $\dot{M}_s$  para el caudal másico del agua de alimentación.

30 En el caso de que también varíe, simultáneamente con el aporte térmico, la densidad de entrada  $\rho_E$ , como por ejemplo, en el caso de un cambio de carga, se estiman por separado tanto los efectos de carga y de descarga de masa mediante la variación brusca de densidad en la entrada, así como mediante los efectos de almacenamiento térmico debidos a la variación de aporte térmico. Para la corrección en la salida del precalentador, sólo se estiman variaciones que se presenten por la variación de aporte térmico, dado que las variaciones que se presentan retardadas en el tiempo debido a la variación brusca en la densidad en la entrada y también en la salida, sólo se estiman en la entrada y se compensan en la salida.

De manera ventajosa, tanto el tiempo de retardo como también la constante de tiempo de la térmica del precalentador se adaptan de manera recíproca a la carga del generador de vapor.

De manera ventajosa, la unidad de control del flujo de agua de alimentación se puede conectar y desconectar dependiendo del estado de funcionamiento del generador de vapor.

40 Las ventajas obtenidas mediante la presente invención, consisten particularmente en que mediante el cálculo del caudal másico del agua de alimentación, estimando la densidad media del agua de alimentación en el precalentador como término de corrección, mediante el control sincronizado del flujo de agua de alimentación y del aporte térmico a la superficie de calentamiento del evaporador, de una manera particularmente simple y fiable, en todos los estados posibles de funcionamiento del generador de vapor continuo, se evita de una manera segura que se supere la entalpía específica del fluido en la salida de la superficie de calentamiento del evaporador y se generen fluctuaciones de la temperatura considerables del vapor vivo y, de esta manera, se reducen los esfuerzos del material y se incrementa la vida útil del generador de vapor.

Los ejemplos de ejecución de la presente invención se explican en detalle de acuerdo con un dibujo. Se muestra:

FIG. 1 una unidad de control del flujo de agua de alimentación para un generador de vapor continuo,

50 FIG. 2 una ejecución alternativa de la unidad de control del flujo de agua de alimentación,

FIG. 3a un diagrama con el desarrollo en el tiempo de la entalpía específica del fluido en la salida de la superficie de calentamiento del evaporador del generador de vapor continuo, en el caso de una variación brusca de la temperatura del agua de alimentación afluente, en el funcionamiento con carga plena del generador de vapor continuo,

5 FIG. 3b un diagrama con el desarrollo en el tiempo de la entalpía específica en el caso de una variación brusca de la temperatura del medio afluente, en el funcionamiento con carga parcial del generador de vapor continuo, y

FIG. 3c un diagrama con el desarrollo en el tiempo de la entalpía específica en el caso de un cambio de carga.

Las mismas piezas están provistas de los mismos símbolos de referencia en todas las figuras.

10 La figura 1 muestra, de manera esquemática, un dispositivo 1 para la conformación del valor teórico  $\dot{M}_s$  para el caudal másico del agua de alimentación de un generador de vapor continuo. El generador de vapor continuo presenta un precalentador 2 también denominado economizador, para el agua de alimentación que se encuentra en un canal de gas no representado en detalle. El precalentador 2 se encuentra conectado, del lado del fluido, previamente a una bomba de agua de alimentación 3, y después de una superficie de calentamiento del evaporador 4. En el conducto de agua de alimentación que se conduce desde la bomba de agua de alimentación 3 hacia el precalentador 2, se encuentra dispuesto un dispositivo de medición 5 para la medición del caudal másico del agua de alimentación  $\dot{M}$  a través del conducto de agua de alimentación.

Un motor de accionamiento en la bomba de agua de alimentación 3 se encuentra asociado a una unidad de control 6, en cuya entrada, como variable de regulación, se encuentra la desviación de la regulación  $\Delta\dot{M}$  del caudal másico del agua de alimentación  $\dot{M}$ , medido con el dispositivo de medición 5. A la unidad de control 6 se asocia el  
20 dispositivo 1 para la conformación del valor teórico  $\dot{M}_s$  para el caudal másico del agua de alimentación.

Dicho dispositivo está diseñado para una determinación del valor teórico  $\dot{M}_s$ , una determinación particularmente adaptada a las necesidades. Además, se considera que la detección del valor real del caudal másico del agua de alimentación  $\dot{M}$  no se realiza directamente aguas arriba a la superficie de calentamiento del evaporador 4, sino que se realiza previamente al precalentador 2. De esta manera, debido a los efectos de carga o descarga de masa en el precalentador 2, se podrían generar imprecisiones en la determinación del valor de medición para el caudal másico del agua de alimentación  $\dot{M}$ . Para compensar dichas imprecisiones, se prevé una corrección de dicho valor de medición estimando la densidad  $\rho_E$  del agua de alimentación en la entrada del precalentador 2. El dispositivo 1 presenta, entre otros, como variables de entrada, por una parte, un valor teórico L proporcionado por un indicador del valor teórico 7, para el rendimiento del generador de vapor continuo y, por otra parte, el valor real  $\rho_E$  de la densidad del agua de alimentación en la entrada del precalentador 2, determinado a partir de la medición de la presión y de la temperatura de un dispositivo de medición 9.  
25

El valor teórico L para el rendimiento del generador de vapor continuo que varía repetidas veces en el tiempo durante el funcionamiento, y que se proporciona en el circuito de regulación del sistema de calentamiento (no representado) directamente a la unidad de control del combustible, también se proporciona a la entrada de un primer elemento de retardo 13 del dispositivo 1. Dicho elemento de retardo 13 proporciona una primera señal o un primer valor de rendimiento retardado L1. Dicho primer valor de rendimiento L1 se proporciona a las entradas de las unidades del generador de funciones 10 y 11 del generador de funciones de la unidad de control del flujo de agua de alimentación 1. En la salida de la unidad del generador de funciones 10, se presenta un valor  $\dot{M}$  (L1) para el caudal másico del agua de alimentación, y en la salida de la unidad del generador de funciones 11 se presenta un valor  $\Delta h$  (L1) para la diferencia obtenida de entalpía específica  $h_{1A}$  en la salida de la superficie de calentamiento del evaporador 4, y de entalpía específica  $h_{1E}$  en la entrada de dicha superficie de calentamiento del evaporador 4. Los valores  $\dot{M}$  y  $\Delta h$  como funciones de L1 se determinan a partir de los valores para  $\dot{M}$  y  $\Delta h$  que se han medido en el funcionamiento estacionario del generador de vapor continuo, y que se han almacenado en las unidades del generador de funciones 10 u 11.  
35

Las variables de salida  $\dot{M}$  (L1) y  $\Delta h$  (L1) se multiplican entre sí en un elemento de cálculo de producto 14 del generador de funciones del dispositivo 1. El valor de producto obtenido  $\dot{Q}(L1)$  corresponde al flujo térmico que se conduce hacia la superficie de calentamiento del evaporador 4 en el valor de rendimiento L1, y eventualmente después de la corrección mediante un factor de rendimiento característico para los efectos de carga o descarga en el evaporador, determinado en un elemento diferenciador 14a a partir de la entalpía de entrada, se proporciona como numerador a un elemento de cálculo fraccional. Como denominador, se proporciona al elemento de cálculo fraccional 15 la diferencia conformada con un elemento de cálculo sumatorio 19, entre un valor teórico  $h_{sA}(L2)$  de entalpía específica en la salida de la superficie de calentamiento del evaporador 4, y el valor real  $h_{1E}$  de entalpía  
40  
45  
50

## ES 2 399 756 T3

específica en la entrada de la superficie de calentamiento del evaporador 4, que se mide con la ayuda del dispositivo de medición 9.

5 El valor teórico  $h_{SA}(L2)$  se obtiene de una tercera unidad 12 del generador de funciones del dispositivo 1. El valor de entrada de la unidad del generador de funciones 12, se genera en la salida de un segundo elemento de retardo 16, cuya variable de entrada es el primer valor de rendimiento L1 en la salida del primer elemento de retardo 13. En correspondencia, el valor de entrada de la tercera unidad del generador de funciones 12, es un segundo valor de rendimiento L2 que se encuentra retardado en relación con el primer valor de rendimiento L1. Los valores  $h_{SA}(L2)$  como función de L2, se determinan a partir de los valores para  $h_{SA}$  que se han medido en el funcionamiento estacionario del generador de vapor continuo, y que se han almacenado en la tercera unidad del generador de funciones 12.

10 De la salida del elemento de cálculo fraccional 15, se puede obtener el valor teórico  $\dot{M}_s$  para el caudal másico del agua de alimentación para la conformación que se realiza en un elemento de cálculo sumatorio 23, de la desviación de la regulación proporcionada a la unidad de control 6, del valor real medido mediante el dispositivo 5, para el caudal másico del agua de alimentación hacia el precalentador 2.

15 En la salida del segundo elemento de retardo 16, se encuentra la entrada de un elemento diferenciador 17, cuya salida lanza una señal negativa con un elemento de cálculo sumatorio 18. Dicho elemento de cálculo sumatorio 18 corrige el valor para el flujo térmico  $Q(L1)$  hacia la superficie de calentamiento del evaporador 4, después de la señal de salida del elemento diferenciador 17.

20 Los valores reales de temperatura y presión del agua de alimentación en la entrada del precalentador 2, medidos por el dispositivo de medición 9, en un elemento de cálculo 20 se convierten en un valor real  $p_E$  de la densidad del agua de alimentación en la entrada del precalentador 2. Dicho valor se proporciona a la entrada de un elemento diferenciador 22, y se multiplica por el volumen del precalentador. El valor aproximado  $\Delta\dot{M}$  calculado de esta manera, para la variación del caudal másico del agua de alimentación, debido a los efectos de carga y descarga en el interior del precalentador 2, se proporciona como una constante de tiempo a un elemento de cálculo sumatorio 24, a través de un elemento de retardo integrado en el elemento diferenciador 22, con el tiempo de recorrido del agua de alimentación a través del precalentador 2, el cual corrige el valor teórico para el caudal másico  $\dot{M}_s$  desde el elemento diferenciador 15 para  $\Delta\dot{M}$  y, de esta manera, permite considerar los efectos de carga y descarga de masa debido a una variación de la temperatura y, de esta manera, de la densidad del agua de alimentación en la entrada del precalentador 2 en la regulación del caudal másico del agua de alimentación.

30 La figura 2 muestra una ejecución alternativa de la unidad de control del flujo de agua de alimentación, que también en el caso de una variación en el tiempo del aporte térmico en el interior del precalentador 2, permite considerar de manera fiable los efectos de carga y de descarga de masa, en la regulación del caudal másico del agua de alimentación.

35 La unidad de control del flujo de agua de alimentación de acuerdo con la figura 1, se completa en el ejemplo de ejecución de acuerdo con la figura 2, estimando la densidad  $p_A$  del fluido en la salida del precalentador 2. Para determinar la densidad del fluido en la salida del precalentador 2, se proporciona en la salida del precalentador 2, un dispositivo de medición 21 para la medición de la presión y de la temperatura del fluido. El elemento de cálculo 26 detecta como señal de entrada para un elemento de cálculo sumatorio 30 conectado a continuación, a partir de la medición de la temperatura y de la presión, el valor real para la densidad  $p_A$  del fluido en la salida del precalentador 2. La señal de salida del elemento de cálculo sumatorio 30 se proporciona a un elemento diferenciador 36, que lanza como una señal de salida su derivada en el tiempo multiplicada por el volumen del precalentador 2. Dicha señal de salida que interpreta la variación en el tiempo del caudal másico del agua de alimentación  $\Delta\dot{M}_A$  en la salida del precalentador 2, se proporciona a un elemento de cálculo sumatorio 36 que como segunda variable de entrada presenta la variación  $\Delta\dot{M}_E$  del caudal másico del agua de alimentación en la entrada del precalentador 2.

45 El elemento de cálculo sumatorio 36 presenta como señal de salida la variación media del caudal másico del agua de alimentación  $\Delta\dot{M}$ , calculada a partir de  $\Delta\dot{M}_A$  y  $\Delta\dot{M}_E$ , debido a los efectos de carga y descarga de masa en el precalentador 2. La señal de salida del elemento de cálculo fraccional 36 se conecta en el elemento de cálculo sumatorio 24 con la señal de salida del elemento de cálculo fraccional 15, para la corrección del valor teórico del caudal másico del agua de alimentación.

50 En el caso de una perturbación en el funcionamiento que conduce, por ejemplo, a una variación brusca de la temperatura del agua de alimentación que fluye al precalentador 2, por ejemplo, en el caso de un fallo repentino de una sección de precalentamiento antepuesta, la señal de salida del elemento de cálculo 26 se debe corregir aún

para el efecto de la densidad de entrada modificada. En el caso en que esto no suceda, el efecto de la variación brusca de la densidad en la entrada del precalentador 2 se considera dos veces, es decir, en la detección de la densidad del agua de alimentación en la entrada y en la salida del precalentador 2. Para corregir dicho efecto, la señal de salida del elemento diferenciador 20 se conecta con un elemento de retardo 28 con el tiempo de recorrido del agua de alimentación a través del precalentador 2 como una constante de tiempo. La señal generada de esta manera, se conecta de manera negativa con el elemento de cálculo sumatorio 30, con una constante de almacenamiento térmico del precalentador 2, a través de un elemento de retardo 32. De esta manera, se elimina el efecto de la variación brusca de la densidad en la entrada del precalentador 2 en la señal de densidad de salida y, de esta manera, se considera sólo una vez y no dos veces en el cálculo del caudal másico de corrección.

La unidad de control del flujo de agua de alimentación, cuando se utiliza el dispositivo 1 permite en cualquier estado de funcionamiento del generador de vapor, una determinación particularmente simple del valor teórico  $\dot{M}_s$  para el caudal másico del agua de alimentación a través de la superficie de calentamiento del evaporador 4. Mediante una adaptación precisa de dicho caudal másico del agua de alimentación a un aporte térmico en la superficie de calentamiento del evaporador, se pueden evitar de una manera segura grandes fluctuaciones de la temperatura de salida del vapor vivo, y que se supere la entalpía específica en la salida de la superficie de calentamiento del evaporador 4. De esta manera, se evitan esfuerzos del material debido a fluctuaciones de temperatura, que conducen a una vida útil reducida del generador de vapor continuo.

El desarrollo que se muestra en la figura 3 (trazado de la curva I a III) de las tres entalpías específicas en kJ/kg, en la salida de la superficie de calentamiento del evaporador 4 en relación con el tiempo t, se ha determinado para un generador de vapor continuo en su funcionamiento con carga plena, en el caso de un fallo de una sección de precalentamiento antepuesta al precalentador 2. El perfil de la curva I en la figura 3a, se adopta para el caso en que en la unidad de control del flujo de agua de alimentación no se considere la variación de la densidad del agua de alimentación en la entrada del precalentador 2, generada por la perturbación simulada del funcionamiento, es decir, para el caso en que como valor teórico  $\dot{M}_s$  para el caudal másico del agua de alimentación se utilice la señal de salida no corregida del elemento de cálculo fraccional 15 de acuerdo con las figuras 1 ó 2.

El trazado de la curva II se adopta para el caso en que en la unidad de control del flujo del agua de alimentación sólo se considere la variación en el tiempo, representada en la figura 1, de la densidad  $p_E$  en la entrada del precalentador 2 y, de esta manera, sólo se estiman los efectos de carga y de descarga de masa, debido a la variación brusca de la temperatura en la entrada del precalentador 2. No son considerados los efectos de carga y de descarga de masa, debidos a una variación de aporte térmico en el precalentador 2 y, de esta manera, debidos a una variación de aporte térmico al agua de alimentación. Dicho caso corresponde a la unidad de control del flujo de agua de alimentación de la figura 1.

Finalmente, el trazado de la curva III muestra el desarrollo en el tiempo de la entalpía específica, considerando además los efectos de carga y de descarga de masa, debido a una variación de aporte térmico en el precalentador 2, hecho que corresponde a la unidad de control del flujo de agua de alimentación de la figura 2. En este caso, el elemento de cálculo sumatorio 24 de la figura 2 presenta como segunda variable de entrada, además de la variable de salida del elemento diferenciador 15, la variación media del caudal másico del agua de alimentación  $\Delta\dot{M}$ , calculada a partir de  $\Delta\dot{M}_A$  y  $\Delta\dot{M}_E$ . La unidad de control del flujo de agua de alimentación considera en este caso, no sólo la densidad  $p_E$  en la entrada del precalentador 2, sino que considera adicionalmente la densidad  $p_A$  en su salida. Mediante la detección por separado de ambas densidades  $p_E$  y  $p_A$ , se pueden considerar los efectos de carga y de descarga de masa, tanto debido a una variación de aporte térmico en el precalentador 2, así como debido a una temperatura modificada del agua de alimentación en la entrada del precalentador 2.

La figura 3b muestra el desarrollo (trazado de la curva I a III) de las tres entalpías específicas en kJ/kg en la salida de la superficie de calentamiento del evaporador 4 en relación con el tiempo t, para un generador de vapor continuo en el funcionamiento con carga parcial (50% de la capacidad máxima), en el caso de un fallo de una sección de precalentamiento antepuesta al precalentador 2.

El trazado de la curva I en la figura 3b, se adopta para el caso en que, en la unidad de control del flujo de agua de alimentación, no se considere la variación de la densidad del agua de alimentación en la entrada del precalentador 2, generada por el fallo de la sección de precalentamiento conectada previamente al precalentador 2, es decir, para el caso en que como valor teórico  $\dot{M}_s$  para el caudal másico del agua de alimentación, se utilice la señal de salida no corregida del elemento de cálculo fraccional 15 de acuerdo con las figuras 1 ó 2.

El trazado de la curva II en la figura 3b se adopta para el caso en que en la unidad de control del flujo del agua de alimentación sólo se considere la variación en el tiempo, representada en la figura 1, de la densidad  $p_E$  en la entrada del precalentador 2. No son considerados los efectos de carga y de descarga de masa, debido a una variación de

aporte térmico en el precalentador 2. Dicho caso corresponde a la unidad de control del flujo de agua de alimentación de la figura 1.

5 El trazado de la curva III en la figura 3b muestra como en la figura 3a el desarrollo en el tiempo de la entalpía específica, considerando además los efectos de carga y de descarga de masa, debido a una variación de aporte térmico en el precalentador 2, hecho que corresponde a la unidad de control del flujo de agua de alimentación de la figura 2.

10 La figura 3c muestra el desarrollo (trazado de la curva I a III) de las tres entalpías específicas en kJ/kg en la salida de la superficie de calentamiento del evaporador 4 en relación con el tiempo  $t$ , para un generador de vapor continuo en el caso de un cambio de carga del funcionamiento con carga plena al funcionamiento con carga parcial (100% a 50% de carga).

15 El trazado de la curva I en la figura 3c, se adopta para el caso en que, como en la figura 3a, en la unidad de control del flujo de agua de alimentación no se considere la variación de la densidad del agua de alimentación en la entrada del precalentador 2, generada por el fallo del precalentador 2, es decir, para el caso en que como valor teórico  $\dot{M}_S$  para el caudal másico del agua de alimentación, se utilice la señal de salida no corregida del elemento de cálculo fraccional 15 de acuerdo con las figuras 1 ó 2.

20 El trazado de la curva II en la figura 3c se adopta para el caso en que, como en la figura 3a, en la unidad de control del flujo del agua de alimentación sólo se considere la variación en el tiempo, como se representa en la figura 1, de la densidad  $\rho_E$  en la entrada del precalentador 2. No son considerados los efectos de carga y de descarga de masa, debido a una variación de aporte térmico en el precalentador 2. Dicho caso corresponde a la unidad de control del flujo de agua de alimentación de la figura 1.

El trazado de la curva III en la figura 3c muestra como en la figura 3a el desarrollo en el tiempo de la entalpía específica, considerando además los efectos de carga y de descarga de masa, debido a una variación de aporte térmico en el precalentador 2, hecho que corresponde a la unidad de control del flujo de agua de alimentación de la figura 2.

25 Los diagramas de acuerdo con las figuras 3a, 3b y 3c muestran que la unidad de control del flujo de agua de alimentación 1 de la figura 1 ó 2, resultan particularmente apropiados para evitar que se supere la entalpía específica en la salida de la superficie de calentamiento del evaporador 4.

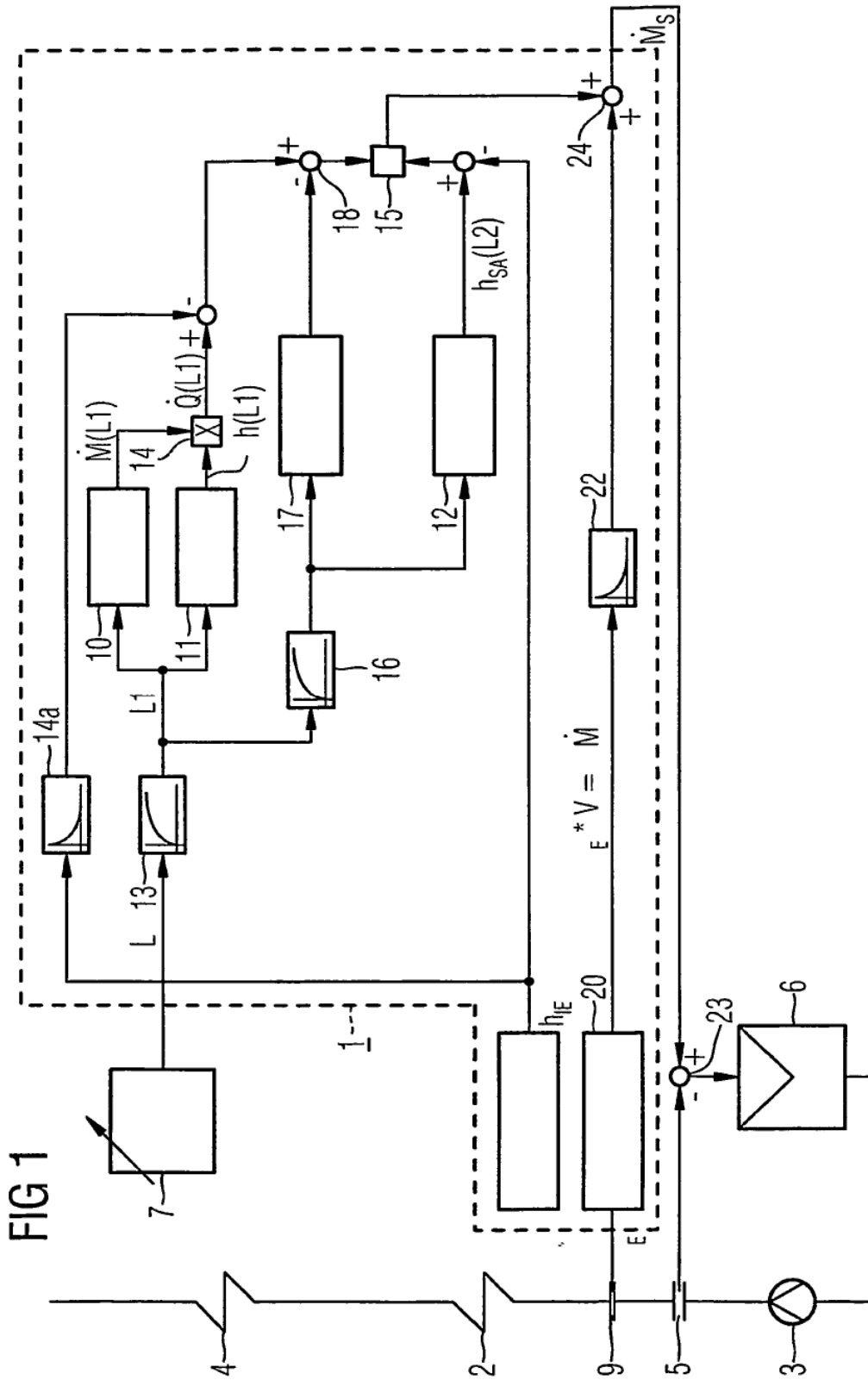


REIVINDICACIONES

1. Método para el funcionamiento de un generador de vapor continuo con una superficie de calentamiento del evaporador (4), un precalentador (2) conectado aguas arriba a la superficie de calentamiento del evaporador (4) del lado del fluido, un dispositivo para la regulación del caudal másico del agua de alimentación  $\dot{M}$ , y una unidad de control del flujo de agua de alimentación (1) asociada a dicho dispositivo, cuya variable de control es el caudal másico del agua de alimentación  $\dot{M}$ , y cuyo valor teórico  $\dot{M}_s$  para el caudal másico del agua de alimentación  $\dot{M}$  depende de un valor teórico L asociado a la capacidad del generador de vapor, **caracterizado porque** a la unidad de control del flujo de agua de alimentación (1) se proporciona como una de las variables de entrada, el valor real  $p_E$  de la densidad del agua de alimentación en la entrada del precalentador (2).
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que a la unidad de control del flujo del agua de alimentación (1) como otra variable de entrada, se proporciona el valor real  $p_A$  de la densidad del agua de alimentación en la salida del precalentador (2).
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en el que la variable

$$\dot{M} + \Delta\bar{\rho} \cdot V$$

- se utiliza como valor teórico  $\dot{M}_s$  para el caudal másico del agua de alimentación, en donde  $\dot{M}$  es el valor real del caudal másico del agua de alimentación en la entrada del precalentador (2),  $\Delta\bar{\rho}$  es la variación en el tiempo de la densidad media del agua de alimentación en el interior del precalentador (2), y V es el volumen del precalentador (2).
4. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que como valor aproximado para la densidad media  $\bar{\rho}$  se utiliza la densidad  $p_E$  del agua de alimentación en la entrada del precalentador (2).
5. Método de acuerdo con la reivindicación 3 ó 4, en el que la variación en el tiempo de la densidad media  $\Delta\bar{\rho}$  del agua de alimentación en el precalentador (2) se conforma mediante un elemento funcional con un comportamiento diferenciador.
6. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 2 a 5, en el que la señal de densidad de entrada se conecta con un elemento de retardo que presenta una constante de tiempo en relación al tiempo de recorrido del precalentador (2), en correspondencia con una constante de tiempo en relación con la térmica del precalentador (2) retardada  $PT_1$ , y la señal generada de esta manera es la señal de densidad de salida lanzada como señal negativa.
7. Método de acuerdo con la reivindicación 6, en el que tanto el tiempo de retardo como también la constante de tiempo en relación con la térmica del precalentador (2) se adaptan de manera recíproca a la carga del generador de vapor.
8. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, en donde la unidad de control del flujo del agua de alimentación (1) se puede conectar y desconectar según sea necesario.



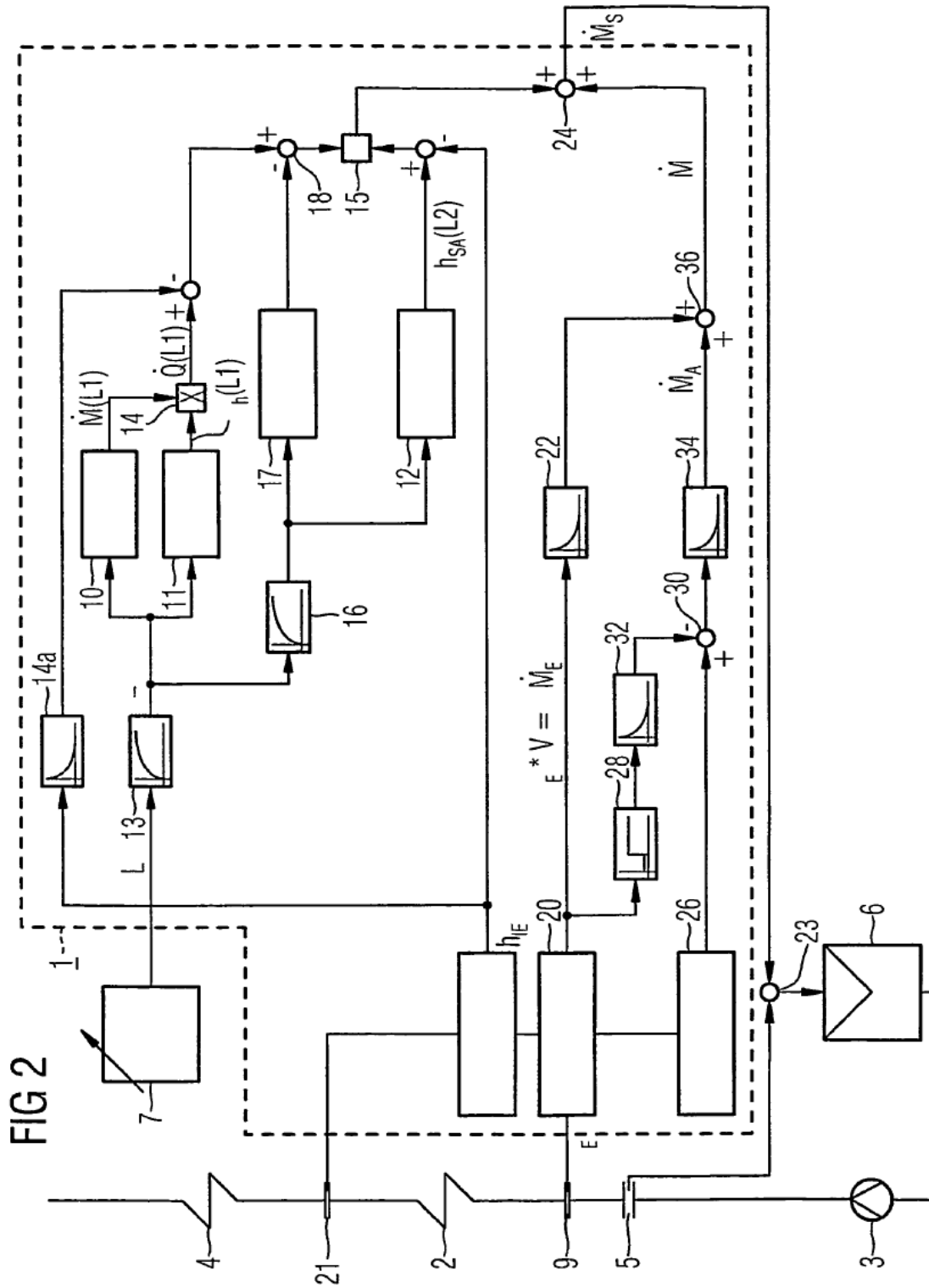


FIG 3A

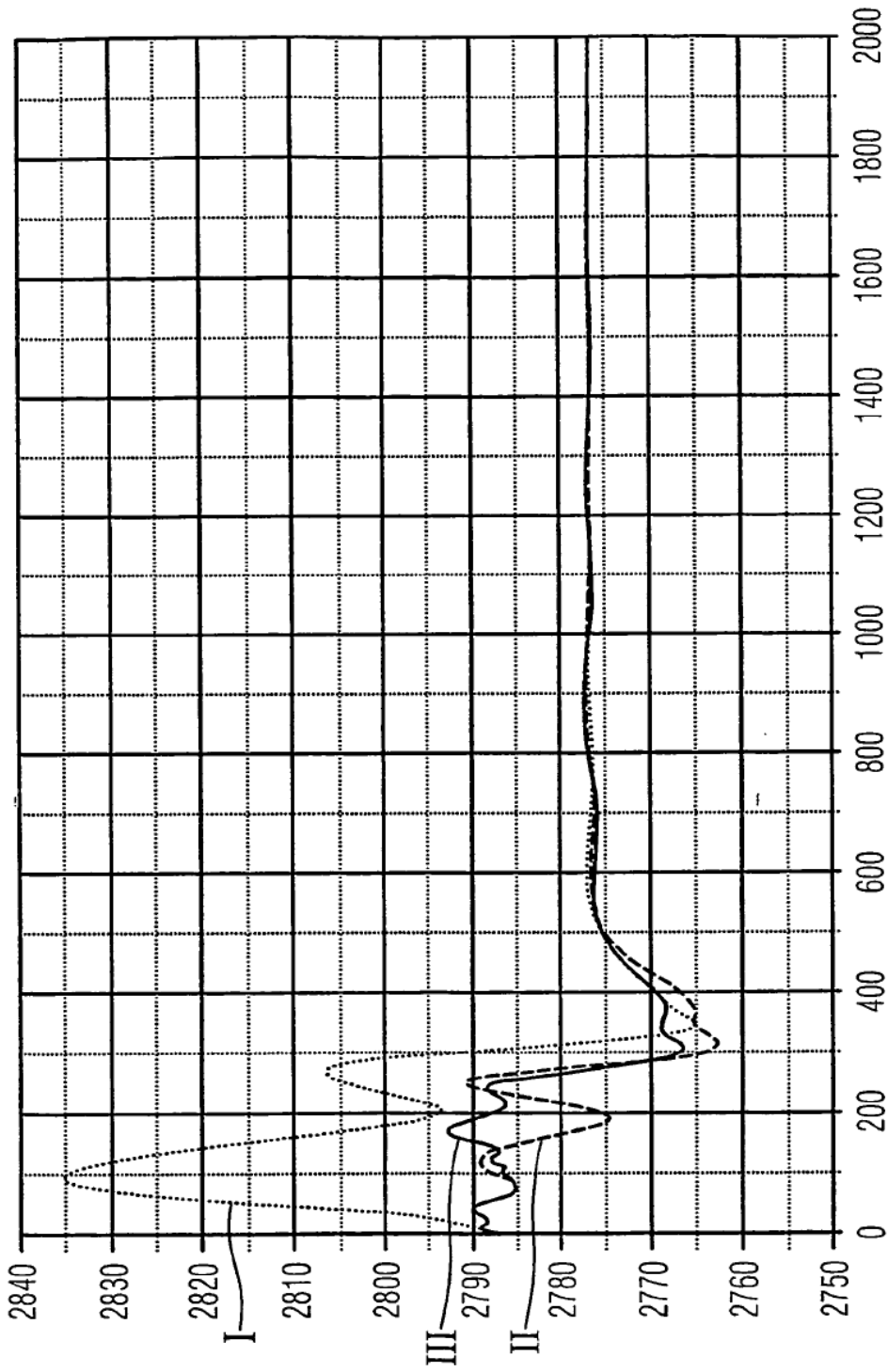


FIG 3B

