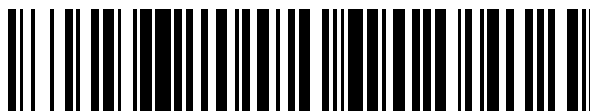


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 526 591**

51 Int. Cl.:

F24J 2/07 (2006.01)

F22B 1/00 (2006.01)

F22B 35/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.11.2011 E 11306526 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.10.2014 EP 2594862**

54 Título: **Procedimiento para controlar un generador de vapor solar y sistema de control correspondiente**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.01.2015

73 Titular/es:

**AREVA SOLAR, INC (100.0%)
303 Ravendale Drive
Mountain View CA 94043, US**

72 Inventor/es:

**TANNER, PETER y
RASMUSSEN, KENT**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 526 591 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

Procedimiento para controlar un generador de vapor solar y sistema de control correspondiente.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para controlar un generador de vapor solar directo que comprende un receptor solar provisto de tubos alimentados con fluido de trabajo y sometidos a energía solar concentrada para evaporar el fluido de trabajo en vapor y actuadores de flujo, afectando la posición de cada actuador de flujo los parámetros de flujo en los tubos.

10 El documento WO-A-2010132849 divulga un procedimiento para controlar un generador de vapor solar directo, en el que las posiciones de los actuadores de flujo se controlan en función de una salida de control de un controlador predictivo de modelo.

15 Un objetivo de la invención es proponer un procedimiento para controlar un generador de vapor solar directo que mejore el control de las condiciones del vapor de salida del generador de vapor solar directo.

Para ello, la invención propone un procedimiento para controlar un generador de vapor solar directo según la reivindicación 1.

20 La invención también se refiere a un sistema de control para controlar un generador de vapor solar directo según la reivindicación 16.

La invención y sus ventajas se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la lectura de la descripción siguiente que se proporciona únicamente a título de ejemplo y haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 25
- la Figura 1 es una vista superior esquemática de un generador de vapor solar directo del tipo Fresnel, que prevé un sistema de control que utiliza un controlador predictivo de modelo;
 - la Figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra un controlador de entrada del sistema de control del generador de vapor solar de la Figura 1;
 - la Figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra un controlador de salida del sistema de control del generador de vapor solar de la Figura 1 que utiliza un controlador predictivo de modelo;
 - la Figura 4 es un diagrama de bloques que ilustra un controlador de entrada según otra forma de realización; y
 - la Figura 5 es un diagrama de bloques que ilustra un controlador de salida según otra forma de realización.

40 El generador de vapor solar directo 2 ilustrado en la Figura 1 comprende un concentrador solar 4 y un receptor 6. El concentrador 4 está configurado para reflejar y concentrar las radiaciones solares hacia el receptor 6. Dicho receptor 6 está configurado para la circulación de un fluido de trabajo, por ejemplo agua, y la evaporación de dicho fluido de trabajo en vapor utilizando el calor de las radiaciones solares concentradas.

45 El generador de vapor solar 2 es del tipo lineal. El concentrador 4 y el receptor 6 son alargados en una dirección longitudinal L.

50 Preferentemente, el concentrador 4 es del tipo Fresnel. Dicho concentrador 4 comprende una pluralidad de reflectores separados 8 alargados en la dirección longitudinal L y distribuidos en una dirección transversal. Cada reflector 8 puede pivotar en un eje longitudinal horizontal para reflejar las radiaciones solares hacia el receptor 6, dependiendo de la posición del sol.

Preferentemente, el receptor 6 está situado a una altura por encima del suelo y los reflectores 8 están situados al nivel del suelo y dispuestos para reflejar las radiaciones solares hacia arriba hacia dicho receptor 6.

55 El generador de vapor solar 2 comprende una línea de alimentación 10 para alimentar el fluido de trabajo en un estado esencialmente líquido al receptor 6 y una línea de vapor 12 para recoger el vapor de dicho receptor 6.

60 El generador de vapor solar 2 es del tipo directo. El receptor 6 comprende una pluralidad de tubos paralelos para la circulación del fluido de trabajo y la evaporación de dicho fluido de trabajo en vapor debido a las radiaciones solares concentradas en los tubos. Cada uno de los tubos se extiende en la dirección longitudinal entre los dos extremos longitudinales opuestos del receptor 6.

65 El receptor 6 comprende tubos de vapor 14 alimentados en paralelo con el fluido de trabajo desde la línea de alimentación 10 y tubos de sobrecalentado 16 alimentados con vapor desde los tubos de vapor 14 y que alimentan la línea de vapor 12 con vapor sobrecalentado.

El generador de vapor solar 2 comprende actuadores de flujo para controlar el parámetro de flujo del fluido de trabajo en el receptor 6.

5 Los actuadores de flujo comprenden actuadores de flujo de entrada para controlar los parámetros del flujo de entrada que entra en el receptor 6. Preferentemente, los actuadores de flujo de entrada comprenden una válvula de entrada respectiva 18 provista en el extremo de entrada de cada tubo de vapor 14 para controlar los parámetros del flujo de entrada que entra en cada tubo de vapor 14 individualmente.

10 Los actuadores de flujo comprenden actuadores de flujo de salida para controlar los parámetros del flujo de salida de vapor que sale del receptor 6. Preferentemente, los actuadores de flujo de salida comprenden una única válvula de salida 20 para controlar los parámetros del flujo de salida que sale en los tubos de sobrecalentado 16.

15 El generador de vapor solar 2 comprende un sistema de control 22 para controlar los actuadores de flujo. Dicho sistema de control 22 comprende un controlador de entrada 24 para controlar las válvulas de entrada 18 y un controlador de salida 26 para controlar la válvula de salida 20.

20 De acuerdo con un aspecto de la invención, el sistema de control 22 comprende un controlador predictivo de modelo 28 para determinar las salidas de control para el controlador de entrada 24 y el controlador de salida 26. Dicho controlador predictivo de modelo 28 ejecuta un modelo informático del generador de vapor solar o a partir de tablas de consulta que le permita predecir el comportamiento del generador de vapor solar y un estado futuro basado en las entradas que representan el estado del generador de vapor solar en tiempo real.

25 El controlador de entrada 24 y el controlador de salida 26 controlan cada uno de los mismos respectivamente las válvulas de entrada 18 y la válvula de salida 20 dependiendo de las salidas de control determinadas por el controlador predictivo de modelo 28.

Las entradas del controlador de predictivo de modelo 28 son parámetros dependientes y/o parámetros independientes del generador de vapor solar 2.

30 Un parámetro independiente es un parámetro independiente del funcionamiento del generador de vapor solar 2. La insolación y la posición del sol son ejemplos de parámetros independientes.

35 Un parámetro dependiente es un parámetro que varía dependiendo del funcionamiento del generador de vapor solar 2. El flujo de entrada, el flujo de salida, la temperatura del vapor, la temperatura del vapor sobrecalentado y la presión del vapor son ejemplos de parámetros dependientes.

40 El generador de vapor solar 2 comprende detectores 32 para detectar parámetros dependientes y/o parámetros independientes del generador de vapor solar 2. El sistema de control 22 recibe las señales de los detectores. El sistema de control 22 utiliza estas señales para controlar el generador de vapor solar 2. El controlador de entrada 24, el controlador de salida 26 y el controlador predictivo de modelo 28 utilizan cada uno de los mismos la/s señal/es de uno o varios de los detectores 32.

45 Los detectores 32 pueden ser de distintos tipos. Los detectores 32 provistos en los tubos 14, 16 se ilustran en la Figura 1 para detectar, por ejemplo, la temperatura o la presión. Se pueden proporcionar detectores adicionales, específicamente para detectar la insolación.

50 Los tubos 14, 15 del receptor 6 se distribuyen en por lo menos un haz 34 de tubos. El sistema de control 22 se configura de manera que controle el funcionamiento de cada haz 34 de tubos individualmente. En una forma de realización preferida, los tubos 14, 16 se dividen en dos haces 34 de tubos. Tal como se ilustra en la Figura 1, cada haz 34 de tubos comprende una pluralidad de tubos de vapor 14, aquí tres tubos de vapor 14 y un único tubo de sobrecalentado 16 alimentado por tubos de vapor 14 del haz 34.

55 La dirección longitudinal L está orientada norte-sur, tal como se ilustra mediante el compás en la Figura 1 y los tubos 14, 16 se dividen en un haz este 34 de tubos que comprende los tubos 14, 16 situados en el lado este de un plano medio vertical longitudinal del receptor 6 y un haz oeste 34 de tubos y el haz oeste 34 de tubos que comprende los tubos 14, 16 situados en el lado oeste del plano medio. Cada haz 34 comprende una parte respectiva de la pluralidad de tubos 14, 16 del receptor 6.

60 En funcionamiento, el fluido de trabajo esencialmente en estado líquido circula en la línea de alimentación 10. El fluido de trabajo se alimenta a los tubos de vapor 14 en paralelo. El fluido de trabajo se evapora en los tubos de vapor 14 calentados mediante las radiaciones solares concentradas en los tubos de vapor 14. El vapor se alimenta a los tubos de sobrecalentado 16. El vapor se sobrecalienta en los tubos de sobrecalentado 16 calentados mediante las radiaciones solares concentradas en los tubos de sobrecalentado 16. El sistema de control 22 controla las válvulas de entada 18 y la válvula de salida 20.

65

Tal como se ilustra en la Figura 2, el controlador de entrada 24 está configurado para controlar el caudal de flujo másico de entrada en cada tubo de vapor 14 individualmente. En lo sucesivo, a menos que se especifique lo contrario, "flujo" se refiere a caudal de flujo másico.

5 El controlador de entrada 24 determina un valor consigna del flujo de entrada al tubo W_{tubo} que representa un valor deseado para el caudal de flujo másico de entrada en cada tubo de vapor 14 individualmente y controla la posición de la válvula de entrada 18 para igualar una estimación de flujo de entrada de tubo W_{mes} representativo del caudal de flujo másico de entrada real en el tubo de vapor 14 con el valor consigna del flujo de entrada del tubo.

10 El controlador de entrada 24 comprende un bucle de retroalimentación de control principal de entrada 36 que controla la posición de la válvula de entrada 18 para igualar la estimación de flujo de entrada de tubo W_{mes} con el valor consigna de flujo de entrada de tubo W_{tubo} .

15 El bucle de retroalimentación de control principal de entrada 36 comprende un controlador de estimación de flujo de tubo 38 que determina la estimación de flujo de entrada de tubo W_{meas} , un comparador que determina el error, es decir, la diferencia entre el valor consigna de flujo de entrada de tubo W_{tubo} y la estimación de flujo de entrada de tubo W_{meas} y un regulador de válvula de entrada 40 que recibe el error y emite una instrucción de control de válvula de entrada V_{in} . En una forma de realización preferida, cada regulador de válvula de entrada 40 es un controlador PID.

20 En aras de la claridad, únicamente se ilustra un bucle de retroalimentación de control principal de entrada 36 en la Figura 2. El controlador de entrada 24 comprende un bucle de retroalimentación de control principal de entrada 36 para cada tubo de vapor 14.

25 El controlador de entrada 24 determina una representación del objetivo de flujo total W_{ssg} representativo de un valor deseado para el flujo total en el generador de vapor solar 2. El objetivo de flujo total W_{ssg} se utiliza como una señal de prealimentación para determinar los valores consigna del flujo de tubo W_{tubo} . El controlador de entrada 24 comprende un controlador de flujo total 42 que determina el objetivo de flujo total W_{ssg} en función de los parámetros independientes.

30 En una forma de realización preferida, el objetivo de flujo total W_{ssg} se determina como una razón entre la entrada térmica Q_{in} con respecto a un aumento de entalpía esperado ΔH del fluido de trabajo en el receptor 6.

35 La entrada térmica Q_{in} se determina como una diferencia entre una entrada de energía solar y una pérdida térmica. La entrada de energía solar se determina como un producto de una insolación normal directa medida DNI y una eficiencia óptica $\eta(az, el)$ del concentrador 4 evaluada instantáneamente en la posición solar, es decir el acimut az y la elevación el del sol.

40 La pérdida térmica Q_{loss} se predice según un modelo del generador de vapor solar 2 y depende de diferentes parámetros independientes como la temperatura ambiente, el giro del viento y la geometría de la cavidad del receptor.

45 La entalpía del fluido de trabajo es una función de la presión y la temperatura del fluido de trabajo. La entalpía se aplica con tablas de vapor estándar de la industria (véase IAPWS-IF97). El aumento de entalpía esperado ΔH es la diferencia entre la entalpía de entrada y la entalpía de salida. En una forma de realización preferida, este valor se fija como un valor constante fijo que depende de los valores preestablecidos nominales de la presión de salida P_{out} , la temperatura de salida T_{out} , la presión de entrada P_{in} y la temperatura de entrada T_{in} .

50 El objetivo del flujo másico total se determina en función de las ecuaciones siguientes:

$$W_{ssg} = \frac{Q_{in}}{\Delta H}$$

$$\Delta H = H(P_{out}, T_{out}) - H(P_{in}, T_{in})$$

55 $Q_{in} = DIN \times \eta(az, el) - Q_{loss}$

60 El controlador de entrada 24 determina para cada haz de tubos un objetivo de flujo de haz W_{bank} en función del objetivo de flujo total W_{ssg} . El objetivo de flujo de haz W_{bank} se determina como una fracción del objetivo de flujo total W_{ssg} corregida por un coeficiente de corrección de haz R_{bank} determinado por el controlador predictivo de modelo 28 para cada haz 34. El controlador de entrada 24 determina cada objetivo de flujo de haz W_{bank} multiplicando el objetivo de flujo total por una fracción de haz F_{bank} y por el coeficiente de corrección de haz R_{bank} del haz 34.

En una forma de realización preferida, la fracción de haz F_{bank} es idéntica para los haces. En el ejemplo, el generador de vapor solar 2 comprende dos haces y la fracción de haz F_{bank} es igual a 0,5.

5 Las entradas del controlador predictivo de modelo 28 comprenden una estimación de temperatura de alimentación T_{in} representativa de la temperatura del fluido de trabajo en la línea de alimentación 10. Los detectores comprenden por lo menos un detector de temperatura para medir la temperatura del fluido de trabajo en la línea de alimentación 10.

10 Las entradas del controlador predictivo de modelo 28 comprenden una estimación de temperatura de salida T_{out} representativa de la temperatura del vapor en la línea de vapor 12. Los primeros detectores 30 comprenden un detector de temperatura para medir la temperatura del vapor en la línea de vapor 12.

Las entradas del controlador predictivo de modelo 28 comprenden el objetivo de flujo total W_{ssg} .

15 El controlador de entrada 24 asigna una fracción del objetivo de flujo de haz W_{bank} de cada haz 34 a los tubos de vapor 14 de dicho haz 34 alimentado en paralelo con el fluido de trabajo. El controlador de entrada 24 comprende un controlador de división 44 que emite una fracción de tubo F_{tube} para cada tubo de vapor 14. En una forma de realización preferida, las fracciones de tubo son fijas. Las fracciones de tubo F_{tube} son iguales o diferentes. En cualquier caso, las fracciones de tubo F_{tube} son tales que la suma de dichas fracciones de tubo F_{tube} de los tubos de vapor de un haz sea igual a 1.

25 El controlador de estimación de flujo de tubo 38 determina la estimación de flujo de tubo W_{meas} para cada tubo de vapor 14 en función de la señal suministrada por lo menos por un detector que detecta un parámetro relacionado con el flujo en los tubos de vapor 14.

En una forma de realización, el controlador de entrada 24 determina la estimación de flujo de tubo W_{meas} en función de las señales suministradas por los contadores de flujo másico dispuestos a lo largo de los tubos de vapor 14.

30 En una forma de realización alternativa, las estimaciones de flujo de tubo W_{mes} se determinan en función de una estimación de flujo entero total W_{bulk} representativa del flujo entero en la entrada del receptor 6 y se determinan según la señal de un contador de flujo entero provisto en la línea de alimentación 10. El controlador de estimación de flujo de entrada 38 determina la estimación de flujo de tubo en cada tubo de vapor 14 como el producto de la estimación de flujo entero total W_{bulk} con la razón del coeficiente de flujo C_v de la válvula de entrada 18 de dicho tubo de vapor 14 en la posición de válvula z real con la suma de los coeficientes de flujo C_v de las válvulas de entrada 18 en las posiciones de válvula z reales de las válvulas de entrada. El coeficiente de flujo C_v de una válvula es un coeficiente que relaciona el caudal de flujo que pasa por una válvula con la caída de presión tomada por la válvula. El coeficiente de flujo C_v de una válvula está relacionado con su posición z . Esta forma de realización necesita determinar las curvas del coeficiente de flujo que definen el coeficiente de flujo C_v de cada válvula de entrada 18 en función de la posición z de la válvula de entrada 18. El flujo másico de cada tubo se determina por la ecuación siguiente:

$$W_{ssg} = \frac{C_v(z)}{\sum_k C_{v_k}(z_k)} W_{bulk}$$

45 Tal como se ilustra en la Figura 3, el controlador de salida 26 controla la posición de la válvula de salida 20. Dicho controlador de salida 26 comprende un bucle de retroalimentación de control de salida 48 que controla la válvula de salida 20. Dicho bucle de retroalimentación de control de salida 48 comprende un controlador de estimación de presión de salida 50 que determina una estimación de presión de salida P_{out} representativa de la presión de vapor sobrecalentado en la salida del receptor, un comparador que determina un error como una diferencia entre un valor consigna de presión de salida P_{set} y la estimación de presión de salida P_{out} y un regulador de válvula de salida 52 que recibe el error y emite una instrucción de control de válvula de salida V_{out} . En una forma de realización preferida, el regulador de válvula de salida 52 es un controlador PID.

55 El controlador predictivo de modelo 28 determina el valor consigna de presión de salida. El controlador de salida 26 comprende una determinación de la estimación de presión de salida.

En funcionamiento, el controlador de entrada 24 determina los valores consigna de flujo de tubo W_{tube} y controla las válvulas de entrada 18 para minimizar la diferencia entre los valores consigna de flujo de tubo W_{tube} y las estimaciones de flujo de tubo W_{meas} . El controlador de entrada 24 regula la posición de las válvulas de entrada 18 dependiendo de los errores detectados.

60 El controlador predictivo de modelo 28 se utiliza para controlar los valores consigna de flujo de tubo W_{tube} . Dicho controlador predictivo de modelo 28 recibe parámetros dependientes como entradas. El controlador predictivo de modelo 24 se dispone en un bucle de retroalimentación de control que controla los valores consigna de flujo de tubo

W_{tube} y actúa como un bucle de control exterior que controla los valores consigna para los bucles de retroalimentación de control de entrada 36 como un bucle de control interno.

5 Además, el controlador predictivo de modelo 28 se utiliza para ajustar directamente un valor consigna de presión de salida P_{set} . Cada válvula de salida 20 se controla para minimizar la diferencia entre el valor consigna de presión de salida P_{set} y la estimación de presión de salida P_{meas} .

10 El controlador predictivo de modelo 28 predice el estado del generador de vapor solar 2 dependiendo de las entradas correspondientes a los parámetros reales. La predicción del estado en un futuro permite controlar el generador de vapor solar 2 teniendo en cuenta la reacción de dicho generador de vapor solar 2 a la modificación de la posición de las válvulas de entrada 18 y la válvula de salida 20. Esto permite mejorar el control del generador de vapor solar 2.

15 Preferentemente, el controlador predictivo de modelo 28 soluciona el modelo en un tiempo normalizado de flujo. Para ello, en una forma de realización, el controlador predictivo de modelo 28 analiza el objetivo de flujo total W_{ssg} a un ritmo rápido, por ejemplo cada dos segundos, y determina el siguiente tiempo de ejecución de controlador según el objetivo de flujo en ese momento. Si el tiempo transcurrido desde la última ejecución del controlador excede el tiempo de ejecución siguiente deseado, muestrea las variables requeridas y calcula las emisiones de control siguientes (R_{bank} , P_{out}).

20 En la forma de realización de las Figuras 2 y 3, el objetivo de flujo total W_{ssg} es una señal de prealimentación calculada en función de parámetros independientes.

25 En una forma de realización alternativa, el objetivo de flujo total W_{ssg} se determina con la estimación de la entrada térmica Q_{in} en función de los parámetros dependientes. En una forma de realización preferida, la entrada térmica Q_{in} se calcula como la suma del producto de un flujo de vapor de salida W_{steam} con el aumento de entalpía esperado ΔH y el producto de la velocidad de cambio de la presión de salida dP_{exit}/dt y un factor Γ que relaciona la energía de entrada térmica absorbida por el fluido de trabajo con la velocidad de cambio en la presión de salida. La entrada térmica se calcula según la ecuación siguiente:

30

$$Q_{in} = W_{steam} \cdot x \Delta H + \Gamma \frac{dP_{exit}}{dt}$$

35 En el controlador de entrada 24 de la Figura 2, el controlador de división 46 divide el objetivo de flujo de haz W_{bank} por los tubos de vapor 14 multiplicando dicho objetivo de flujo de haz W_{bank} por una fracción de tubo fija F_{tube} .

40 En una forma de realización alternativa de la Figura 4, el controlador de división 46 varía los valores de las fracciones de tubo F_{tube} para igualar las temperaturas en una sección economizadora de tubos de vapor 14 del receptor 6. La sección economizadora de los tubos de vapor 14 es una sección en la que se espera que el vapor se encuentre subenfriado.

45 El controlador de división 46 controla el valor consigna del flujo del tubo de entrada W_{tube} para cada tubo de vapor 14 individual de cada haz 34 con un bucle de retroalimentación de control de división 60 para igualar una temperatura T_k estimada representativa de la temperatura en cada tubo de vapor 14 con la temperatura promedio T_{avg} en todos los tubos de vapor 14 del receptor 6 o, alternativamente, en los tubos de vapor 14 del haz 34 que comprende el tubo de vapor 14 considerado.

50 El bucle de retroalimentación de control de división 60 comprende para cada tubo de vapor 14 un regulador de fracción 62 que recibe en la entrada la diferencia entre la temperatura promedio T_{avg} y la estimación de temperatura T_k del tubo de vapor 14 T_k y entregando una fracción de tubo. El regulador de fracción 62 es, por ejemplo, un controlador PID.

El regulador de fracción 62 puede conducir a un objetivo de flujo de haz W_{bank} diferente a la suma de los objetivos de flujo de tubo W_{tube} de los tubos de vapor 14 del haz 34.

55 Para conseguirlo, el bucle de retroalimentación de control de división 60 también comprende un controlador de ajuste 64 para regular el objetivo de flujo de haz W_{bank} . El controlador de ajuste 64 recibe la diferencia entre el objetivo de flujo de haz W_{bank} y la suma de los objetivos de flujo de tubo ΣW_{tube} de los tubos de los haces y emite un valor de ajuste que se añade al flujo de haz W_{bank} para determinar un objetivo de flujo de haz regulado $W_{adjusted}$. El controlador de ajuste 64 es, por ejemplo, un controlador PID. Cada objetivo de flujo de tubo W_{tube} se determina como el producto del objetivo de flujo de haz regulado $W_{adjusted}$ con la fracción de tubo F_{tube} .

60 El controlador de salida 26 de la Figura 3 es un controlador de presión de salida. De forma alternativa, el controlador de salida 26 es un controlador de flujo.

ES 2 526 591 T3

En una forma de realización preferida de un controlador de flujo de salida ilustrado en la Figura 5, el controlador predictivo de modelo 28 se configura de manera que emita un objetivo de temperatura de sobrecalentado $T_{\text{superheat}}$ representativo de un valor deseado para la temperatura del vapor sobrecalentado en la salida del receptor 6.

5 El controlador de salida 26 comprende un módulo de temperatura de sobrecalentado 66 para determinar una estimación de temperatura de sobrecalentado. Dicha estimación de temperatura de sobrecalentado T_{out} se determina en función de un detector de temperatura situado en la línea de vapor 12.

10 El controlador de salida 26 comprende un controlador de sobrecalentado 68 que recibe como entrada la diferencia entre el objetivo de temperatura de sobrecalentado $T_{\text{superheat}}$ y la estimación de temperatura de sobrecalentado T_{out} y emite un coeficiente de control de salida R_{out} .

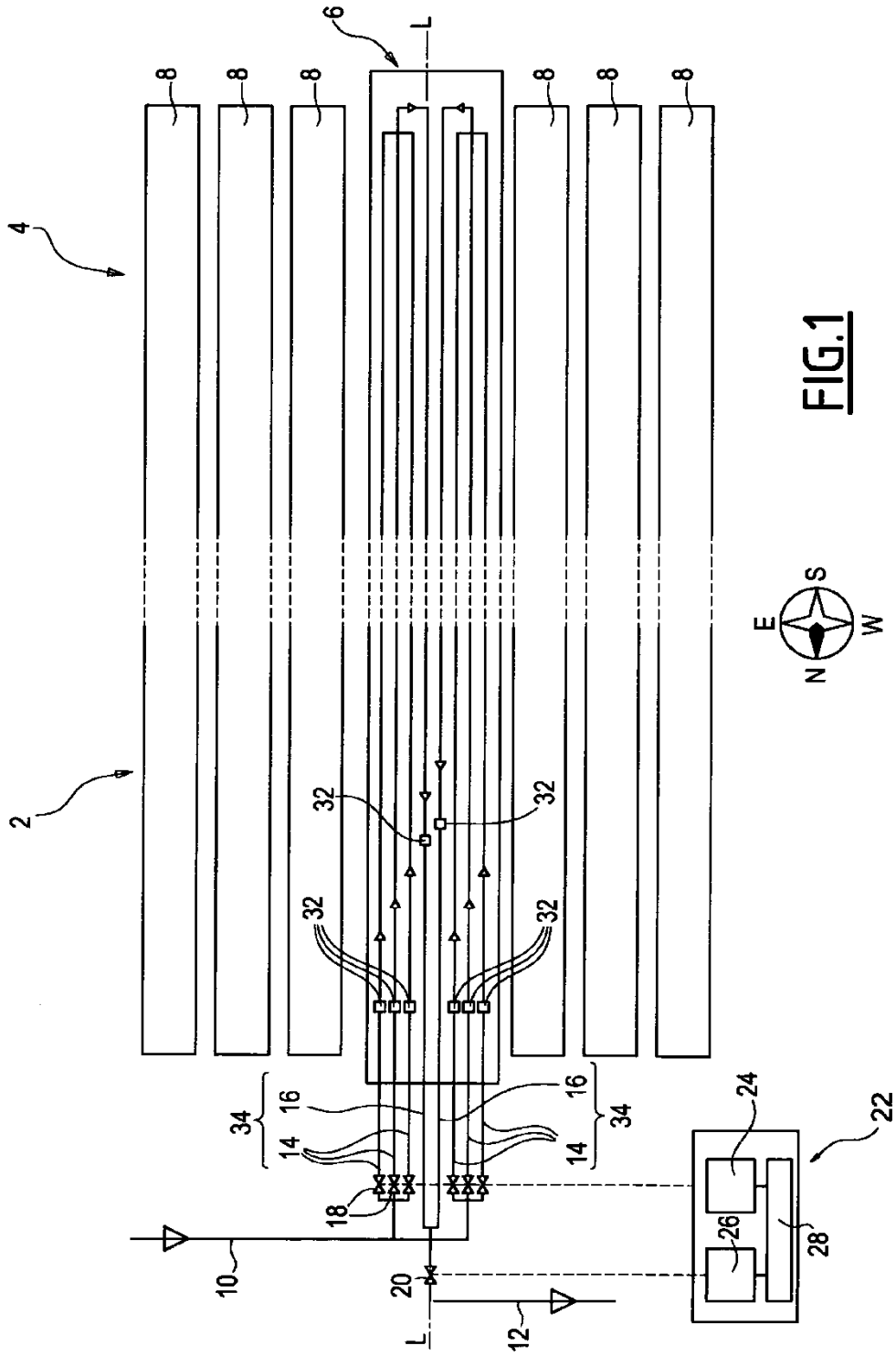
15 El controlador de salida 26 determina un valor consigna de flujo de salida W_{set} como el producto del objetivo de flujo total con el coeficiente de control de salida. El regulador de válvula de salida 52 recibe la diferencia entre el valor consigna de flujo de salida W_{set} y la estimación de flujo de vapor de salida W_{est} y emite una instrucción de posición de válvula de salida V_{out} .

20 De acuerdo con la invención, se puede controlar un generador de vapor solar de manera eficiente a pesar de los numerosos parámetros, de los parámetros independientes externos variables, como la insolación, la existencia de largos intervalos de tiempo, así como una respuesta inversa a las perturbaciones de entrada.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para controlar un generador de vapor solar directo, que comprende un receptor solar provisto de unos tubos (14, 16) alimentados con fluido de trabajo y sometidos a energía solar concentrada para evaporar el fluido de trabajo en vapor y unos actuadores de flujo (18, 20), comprendiendo dichos actuadores de flujo unos actuadores de flujo de salida (20) para controlar el flujo de salida que sale del receptor (6), afectando la posición de cada uno de los actuadores de flujo (18, 20) los parámetros de flujo en los tubos (14, 16), comprendiendo el procedimiento controlar las posiciones de los actuadores de flujo (18, 20) en función de por lo menos una salida de control (R_{bank} , P_{set} , R_{out}) de un controlador predictivo de modelo (28) configurado para predecir el comportamiento del generador de vapor solar directo (2) en función de unas entradas que comprenden unos parámetros independientes y/o dependientes del sistema de generación de vapor solar directo (2), comprendiendo dicho procedimiento controlar los actuadores de flujo de salida (20) para igualar una estimación de presión de salida (P_{out}) representativa de un valor actual de la presión de vapor en la salida del receptor con un valor consigna de presión de salida (P_{set}) representativo de un valor deseado para una presión de vapor en la salida del receptor (6), siendo el valor consigna de presión de salida (P_{set}) fijado mediante el controlador predictivo de modelo (28).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende determinar un valor consigna de parámetro de flujo (W_{tube} , W_{set}) representativo de un valor deseado para el parámetro de flujo en función de por lo menos una salida (R_{bank} , R_{out}) del controlador predictivo de modelo (28) y que controla la posición de por lo menos un actuador de flujo (18, 20) con un bucle de retroalimentación de control (36, 48) para igualar una estimación de parámetro de flujo (W_{meas} , W_{out}) representativa del parámetro de flujo real en el generador de vapor solar (2) con el valor consigna de parámetro de flujo.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, que comprende determinar un objetivo de parámetro de flujo (W_{bank}) como un producto de un objetivo de parámetro de flujo ($W_{ssg} \times F_{bank}$) con el coeficiente de control (R_{bank}) y determinar el valor consigna de parámetro de control del flujo principal (W_{tube}) en función del objetivo de parámetro de flujo (W_{bank}).
4. Procedimiento según las reivindicaciones 2 o 3, que comprende determinar un objetivo de flujo de haz (W_{bank} , $W_{adjusted}$) representativo de un flujo objetivo a través de un haz de tubos que comprende una pluralidad de tubos (14) alimentados en paralelo y que asignan una fracción del objetivo de flujo de haz (W_{bank} , $W_{adjusted}$) a cada tubo (14).
5. Procedimiento según la reivindicación 4, que comprende asignar una fracción fija (F_{tube}) a cada tubo (14).
6. Procedimiento según la reivindicación 4, que comprende determinar una fracción de tubo variable (F_{tube}) para cada tubo en función de una diferencia de una estimación de temperatura de tubo representativa de la temperatura de fluido de trabajo en el tubo y una temperatura promedio determinada como el promedio de las estimaciones de temperatura de tubo en una pluralidad de tubos.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que la temperatura promedio se determina como el promedio de las estimaciones de temperatura de tubo en los tubos del haz o en los tubos de varios haces del receptor solar (6).
8. Procedimiento según las reivindicaciones 6 o 7, que comprende el ajuste del objetivo de flujo de haz en función de la diferencia entre el objetivo de flujo de haz y la suma de los objetivos de flujo de tubo de los tubos de los haces.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 8, que comprende controlar un actuador de flujo en función de un coeficiente de salida (R_{out}) proporcionado por un regulador en función de una diferencia entre una temperatura de vapor objetivo ($T_{superheat}$) representativa de una temperatura deseada en la salida del receptor (6) determinada por el controlador predictivo de modelo (28) y una estimación de temperatura de vapor (T_{out}) representativa de la temperatura de vapor real en la salida del receptor (6).
10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 9, que comprende determinar un objetivo de flujo de salida (W_{out}) en función del producto de un objetivo de flujo nominal (W_{ssg}) con una salida del regulador.
11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 10, que comprende determinar un objetivo de flujo total representativo de un valor deseado del flujo de fluido de trabajo a través del receptor (6) en función de un objetivo de flujo de entrada total determinado como una razón de una entrada térmica representativa de una entrada térmica al fluido de trabajo en el generador de vapor solar con respecto a un aumento de entalpía esperado representativo de un aumento de entalpía del fluido de trabajo en el generador de vapor solar.
12. Procedimiento según la reivindicación 11, que comprende determinar la entrada térmica como la diferencia entre una entrada de energía solar representativa de la energía solar recibida por el fluido de trabajo en el generador de vapor solar y una pérdida térmica representativa de la pérdida térmica del fluido de trabajo en el generador de vapor solar.

13. Procedimiento según la reivindicación 11, que comprende determinar la entrada térmica como la adición de una medida de flujo de vapor de salida y el producto de una velocidad de cambio de presión de vapor de salida con un coeficiente que relaciona la velocidad de cambio de presión de vapor de salida con el flujo.
- 5 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 13, en el que el controlador predictivo de modelo actualiza las salidas de resultados en un tiempo normalizado de flujo.
- 10 15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los actuadores de flujo de salida comprenden unas válvulas de salida (20), estando cada una de dichas válvulas de salida (20) controlada para igualar la estimación de presión de salida (P_{out}) con el valor consigna de presión de salida (P_{set}) fijado por el controlador predictivo de modelo (28).
- 15 16. Sistema de control para controlar un generador de vapor solar directo de acuerdo con un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo dicho sistema de control un controlador predictivo de modelo (28) configurado para predecir el comportamiento del generador de vapor solar directo (2) en función de unas entradas que comprenden unos parámetros independientes y/o dependientes del sistema de generación de vapor solar directo (2), comprendiendo el sistema de control por lo menos un controlador para controlar las posiciones de los actuadores de flujo (18, 20) en función de por lo menos una salida de control (R_{bank} , P_{set} , R_{out}) de dicho controlador predictivo de modelo (28), y para controlar los actuadores de flujo de salida (20) para igualar una
- 20 estimación de presión de salida (P_{out}) representativa de un valor actual de la presión de vapor en la salida del receptor con un valor consigna de presión de salida (P_{set}) representativo de un valor deseado para la presión de vapor en la salida del receptor (6), siendo dicho valor consigna de presión de salida (P_{set}) fijado por el controlador predictivo de modelo (28).



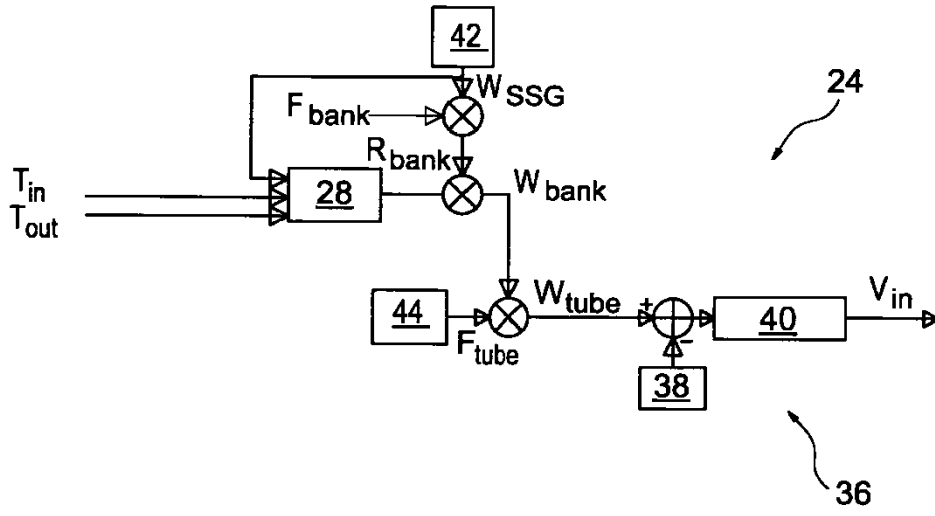


FIG. 2

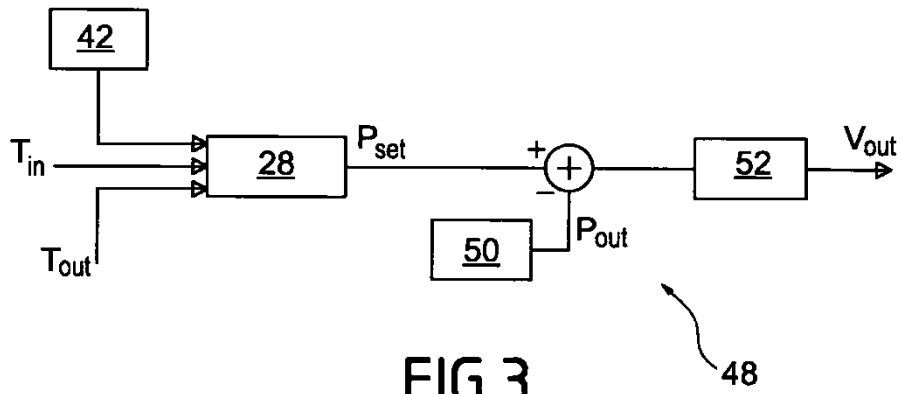


FIG. 3

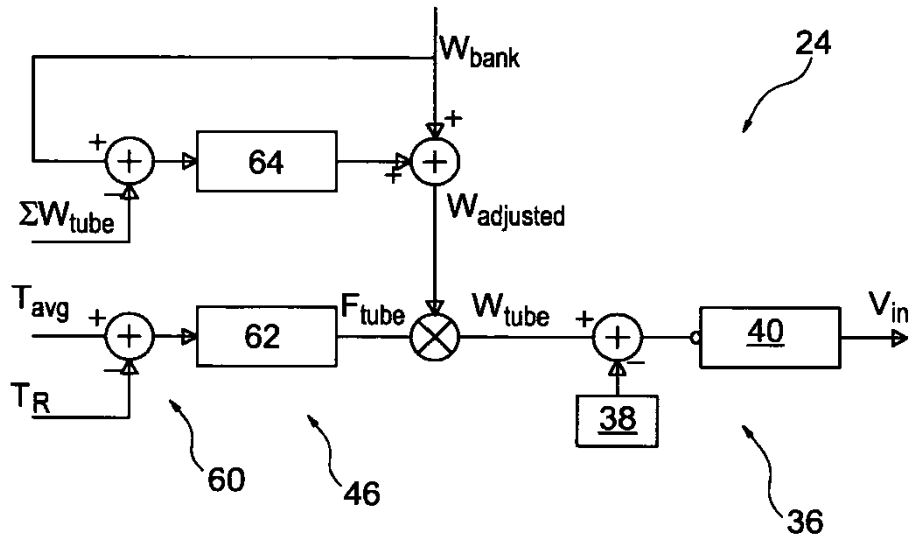


FIG. 4

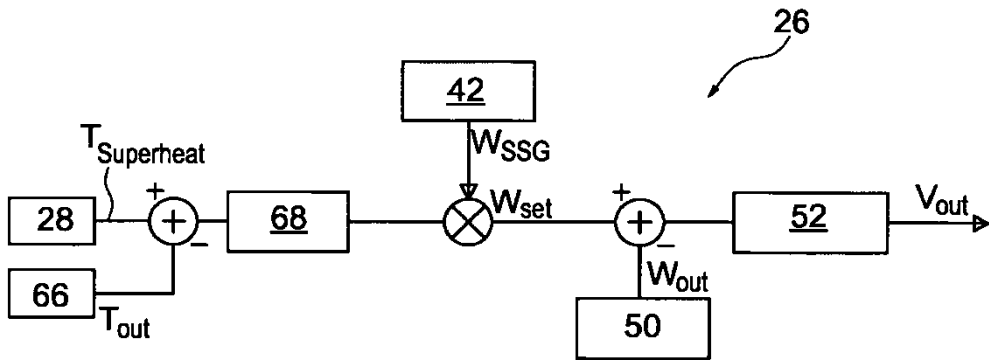


FIG. 5