(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 604 818**

(51) Int. CI.:

***F01K 13/02*** (2006.01)
***F22B 1/00*** (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.04.2013 PCT/EP2013/057541**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **24.10.2013 WO13156375**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.04.2013 E 13717244 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.08.2016 EP 2825736**

(54) Título: **Procedimiento y dispositivo para hacer funcionar una central eléctrica termosolar**

(30) Prioridad:

**19.04.2012 DE 102012206466**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
**09.03.2017**

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

**BRÜCKNER, JAN y**
**THOMAS, FRANK**

(74) Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

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

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento y dispositivo para hacer funcionar una central eléctrica termosolar

La invención se refiere a un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, así como a un dispositivo correspondiente de acuerdo con la reivindicación 7.

Las centrales eléctricas termosolares representan hoy en día una alternativa a la producción de electricidad tradicional. Un concepto de central eléctrica ya conocido en este ámbito es la denominada central eléctrica de canales parabólicos. En este tipo de centrales eléctricas se emplea como medio caloportador habitualmente aceite térmico, que pasa por los canales parabólicos y, con ello, absorbe el calor aportado mediante el sol. El calor absorbido así por el medio caloportador se usa a continuación en un generador de vapor para producir vapor. A este respecto, en el generador de vapor el medio caloportador fluye alrededor de los tubos del generador de vapor rellenos con vapor de agua de tal modo que desprende su calor hacia los tubos del generador de vapor más fríos. El vapor producido así en los tubos propulsa, entonces, una turbina de vapor convencional.

Para alcanzar un rendimiento de la instalación lo más alto posible debe preverse habitualmente un recalentamiento intermedio del vapor. Es decir, el vapor de escape enfriado de una etapa de turbina HD se suministra a un transmisor de calor adicional calentado también por el medio caloportador y se lleva de nuevo hasta un nivel de temperatura mayor. A diferencia del generador de vapor descrito al principio, en este recalentador intermedio, alrededor de los tubos del recalentador intermedio por los que fluye el medio caloportador fluye ahora el vapor, de tal modo que este se calienta correspondientemente en los tubos calentados de manera intensa y que guían el medio caloportador. Debido a las corrientes volumétricas relativamente grandes del vapor del recalentador intermedio, a este respecto las pérdidas de presión por el lado de vapor se mantienen dentro de límites aceptables con un diseño de recalentador intermedio de este tipo.

Para el recalentador intermedio separado de manera física del generador de vapor puede considerarse, a este respecto, la cantidad suministrada de medio caloportador como parámetro libre. Esto significa que al recalentador intermedio tiene que suministrarse medio caloportador solamente en una cantidad tal que en el caso de una corriente másica del vapor predefinida que procede de la turbina HD se consigue la temperatura final deseada del vapor del recalentador intermedio. Esta temperatura final puede servir, por tanto, como variable de regulación para la cantidad que va a suministrarse de medio caloportador.

El documento DE 10 2010 040 623 A1 desvela un procedimiento conocido para la regulación de un recalentamiento intermedio de un generador de vapor de calor de escape.

El objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento correspondientemente fiable y un dispositivo para la regulación de la cantidad de medio caloportador que va a suministrarse al recalentador intermedio.

Este objetivo se soluciona con el procedimiento con las características de la reivindicación 1, así como el dispositivo correspondiente con las características de la reivindicación 7. De las reivindicaciones dependientes 2 a 6 así como 8 a 13 pueden desprenderse configuraciones ventajosas.

La invención se sirve, a este respecto, de una cantidad de medio caloportador ajustada al estado de la instalación y determinada de manera predictiva. En concreto, esto significa que en cualquier momento la corriente másica del medio caloportador que se requiere para conseguir la temperatura final del vapor del recalentador intermedio se determina basándose en parámetros específicos de la instalación a modo de una previsión predictiva.

Como variable característica esencial sirve en este caso la corriente térmica requerida para alcanzar la temperatura final del vapor del recalentador intermedio, que se va a transmitir en el recalentador intermedio a través de tubos dispuestos correspondientemente desde el medio caloportador, tal como por ejemplo aceite térmico, al vapor. Para determinar esta corriente térmica se miden para ello por el lado de vapor la temperatura y la presión en la entrada del recalentador intermedio y se convierten en una entalpía de entrada real correspondiente. Por el lado de salida se especifica en el caso de la presión de vapor medida y un valor teórico de temperatura deseado que va a ajustarse, igualmente, una entalpía de salida teórica correspondiente. Si se resta la entalpía de entrada real de la entalpía de salida teórica y se multiplica la diferencia a continuación preferentemente por la corriente másica del vapor medida, lo que, no obstante, también puede ser otra variable característica que caracteriza la corriente másica del vapor, se conoce la corriente térmica requerida para el calentamiento del vapor. Si ahora se miden igualmente las temperaturas de entrada y salida así como sus presiones correspondientes del medio caloportador y en caso de características físicas conocidas del medio caloportador se convierten en entalpías correspondientes, puede especificarse también en este caso una diferencia de entalpía del medio caloportador entre entrada y salida. Si se divide el consumo de calor calculado por el lado de vapor entre esta diferencia de entalpía por el lado del caloportador, se conoce para el estado de instalación estacionario en cualquier momento la corriente másica requerida del medio caloportador.

Preferentemente puede regularse la temperatura final del recalentador intermedio con las menos variaciones posibles mediante el empleo del procedimiento de acuerdo con la invención o el dispositivo de acuerdo con la invención también durante estados de la instalación altamente transitorios de la central eléctrica de canales parabólicos. Ya que se consideran de manera adecuada los parámetros específicos de instalación tales como, por ejemplo, variables de medición así como adicionalmente características constructivas del diseño del recalentador intermedio en el concepto, puede calcularse previamente en cualquier momento el consumo de corriente másica por el lado del medio caloportador para cualquier estado de instalación. En comparación con una mera regulación de la temperatura final de vapor, que solo puede reaccionar en el caso de cambios de esta temperatura de vapor, con la presente invención ya al comienzo de una interferencia impuesta externamente (tal como, por ejemplo, un cambio de la corriente másica del vapor) esta se detecta y corrige rápidamente. El procedimiento de acuerdo con la invención o el dispositivo de acuerdo con la invención reaccionan así ya de manera previsora a un cambio que se espera de la temperatura de salida del recalentador intermedio, y contrarrestan, por tanto, un cambio de este tipo con antelación.

Preferentemente, el procedimiento de acuerdo con la invención y el dispositivo de acuerdo con la invención están integrados en una central eléctrica termosolar de canales parabólicos con un recalentador intermedio para garantizar así también para estados de funcionamiento altamente transitorios, como aparecen de forma incrementada en centrales eléctricas que funcionan con energía solar (por ejemplo, por el tránsito de nubes), temperaturas de vapor lo más constantes posible en la salida del recalentador intermedio. Además de un modo de conducción, por tanto, seguro y estable en el caso de condiciones climáticas cambiantes mediante un concepto que protege el material puede mejorarse la disponibilidad de toda la instalación de central eléctrica. Preferentemente se usa la invención, a este respecto, en centrales eléctricas termosolares en las que se emplea aceite térmico como medio caloportador. El concepto de acuerdo con la invención puede aplicarse por principio sin embargo también en el caso de instalaciones con otros medios caloportadores, siempre y cuando la instalación disponga de un recalentador intermedio propio no integrado en el generador de vapor como transmisor de calor adicional. Además, el concepto de acuerdo con la invención es adecuado también sin cambios notables para el empleo en combinación con otros componentes tales como, por ejemplo, refrigerador por inyección final o medidas comparables para estabilizar la corriente másica del agua de alimentación en el generador de vapor de una central eléctrica termosolar de canales parabólicos.

La invención debe explicarse ahora mediante las siguientes figuras a modo de ejemplo. Muestran:

la Figura 1, de manera esquemática, un concepto de regulación de acuerdo con la invención,

la Figura 2, de manera esquemática, un concepto de regulación ampliado.

La Figura 1 muestra de manera esquemática un posible concepto de regulación para el funcionamiento estacionario de una central eléctrica termosolar de canales parabólicos. En este caso está representado el recalentador intermedio Z, un equipo de regulación K para el ajuste y corrección de la corriente másica del medio caloportador W, así como un equipo correspondiente de guía de valor teórico de la corriente másica para controlar y, con ello, guiar el equipo de regulación K en función de una diferencia de entalpía determinada del medio caloportador W entre su entrada y salida en y del recalentador intermedio Z y una diferencia de entalpía determinada del vapor D entre su salida y entrada de y en el recalentador intermedio Z.

El recalentador intermedio Z está unido, a este respecto, por el lado de vapor con conductos correspondientes para guiar el vapor D, así como por el lado del medio caloportador con tubos correspondientes para guiar el medio caloportador W. El equipo de regulación K para el ajuste de la corriente másica del medio caloportador W comprende, a este respecto, un motor de ajuste, una válvula de estrangulación controlada por el motor de ajuste, así como un equipo de medición dispuesto delante de la válvula de estrangulación para determinar la corriente másica respectivamente actual del medio caloportador W. Junto con un elemento de regulación configurado correspondientemente forman el equipo de medición, el motor de ajuste y la válvula de estrangulación un circuito de regulación para modificar la corriente másica ajustada actualmente del medio caloportador W de manera correspondiente a un valor teórico de corriente másica predefinido.

El equipo de regulación K se guía, a este respecto, por un equipo de guía de valor teórico de corriente másica que predefine el valor teórico de corriente másica deseado. El equipo de guía de valor teórico de corriente másica está configurado para ello de acuerdo con la invención de tal modo que en el funcionamiento de una central eléctrica termosolar en la que se calienta vapor D en el recalentador intermedio Z en el circuito de agua-vapor por un medio caloportador W calentado de manera termosolar hasta un valor de temperatura teórico ajustable en la salida, para el calentamiento del vapor D hasta un valor de temperatura teórico ajustable se regula de nuevo de manera correspondiente una corriente másica que entra en el recalentador intermedio Z del medio caloportador W en función de una diferencia de entalpía determinada del medio caloportador W entre su entrada y salida en y del recalentador intermedio Z y una diferencia de entalpía determinada del vapor D entre su salida y entrada de y en el recalentador intermedio Z.

El equipo de guía de valor teórico de corriente másica presenta para ello un primer y un segundo módulo 10 y 11 para determinar la entalpía del medio caloportador W en la entrada y salida, así como un tercer y un cuarto módulo

20 y 21 para determinar la entalpía del vapor D en la entrada y salida. Esta determinación se efectúa, a este respecto, basándose en valores de medición por sensores de presión WP10, WP11, DP20 y DP21 dispuestos de manera correspondiente, así como sensores de temperatura WT10, WT11 y DT20 dispuestos de manera correspondiente para la medición de la presión y de la temperatura tanto del vapor D como del medio caloportador W. Preferentemente, estos sensores están dispuestos directamente en la entrada o salida del vapor D y del medio caloportador W en el recalentador intermedio Z para poder determinar de la manera más exacta posible los parámetros específicos de la instalación presentes actualmente en el recalentador intermedio Z.

Como en el caso de un recalentador intermedio Z separado de manera física del generador de vapor la cantidad suministrada de medio caloportador W puede considerarse como parámetro libre, al recalentador intermedio Z tiene que suministrarse medio caloportador W también solamente en tanta cantidad como sea necesario para alcanzar una temperatura teórica deseada del vapor del recalentador intermedio. Esta temperatura teórica en la salida del vapor D desde el recalentador intermedio Z debería usarse, con ello, como variable de regulación para ajustar la corriente másica óptima del medio caloportador W. Para ajustar esta temperatura teórica óptima está previsto, por tanto, un miembro de ajuste 22, con el que puede predefinirse para el cuarto módulo 21 un valor de temperatura teórica seleccionado.

Además, el equipo de guía de valor teórico de corriente másica presenta un primer miembro de resta 24 para restar la entalpía de entrada de vapor determinada de la entalpía de salida de vapor determinada, así como un segundo miembro de resta 12 para restar la entalpía de entrada de medio caloportador determinada de la entalpía de salida de medio caloportador determinada. Con un quinto módulo 23 se determina una variable característica que caracteriza una corriente másica del vapor D entrante. Por medio de un miembro de multiplicación 25 se multiplica esta variable característica por la diferencia del primer miembro de resta 24 y en un miembro de división 30 subsiguiente se divide el producto del miembro de multiplicación 25 entre la diferencia del segundo miembro de resta 12. El resultado de este miembro de división 30 se suministra como valor teórico de corriente másica determinado, después como variable de regulación al equipo de regulación K para modificar la corriente másica ajustada actualmente del medio caloportador W.

La Figura 2 muestra una configuración adicional de acuerdo con la invención en la que para el caso transitorio se consideran adicionalmente aún las cantidades de calor acumuladas o descargadas en el o del material de tubo del recalentador intermedio Z así como las cantidades de calor acumuladas o descargadas del medio caloportador que se encuentra en el recalentador intermedio Z. Dependiendo de si se descarga calor en el sistema (compuesto por el material de tubo y el medio caloportador) en o a partir del sistema se requiere, en comparación con el consumo de calor determinado para el estado casi estacionario, en consecuencia, un suministro de calor mayor o menor por el medio caloportador. Como consecuencia, tiene que adaptarse el caudal de paso por el lado de medio caloportador por el recalentador intermedio Z. Para determinar las cantidades de calor acumuladas o descargadas de los tubos del recalentador intermedio puede servir, a este respecto, un valor característico de temperatura determinado para el material. Este puede ser, por ejemplo, la temperatura de material media de todos los tubos. A través de un cambio de esta temperatura de material media podría cuantificarse en más detalle mediante medidas adecuadas la corriente térmica acumulada en el material de tubo o descargada a partir del material de tubo y considerarse de manera adecuada en caso de la determinación del volumen másico de caloportador requerido. Para ello, está representado como en la Figura 2 un sexto módulo 50 para considerar una energía térmica acumulada o descargada en paredes de tubo del recalentador intermedio Z, cuyo valor resultante se suma por un miembro de suma 60 antes del miembro de división 30 al producto del miembro de multiplicación 25. Preferentemente tiene que evaluarse, a este respecto, el cambio de la temperatura de material media del material de tubo a través de un miembro de diferencia de primer orden. Mediante la elección de una constante de tiempo Tm adecuada y una amplificación Km adecuada de este miembro de diferencia es posible un cálculo previo casi exacto de las cantidades de calor almacenadas.

Para determinar las cantidades de calor acumuladas o descargadas del medio caloportador tiene que procederse de manera análoga. Para ello puede estar previsto un séptimo módulo 55 para la consideración de una energía térmica acumulada o descargada en el medio caloportador W, cuyo valor resultante se suma por el miembro de suma 60 antes del miembro de división 30 al producto del miembro de multiplicación 25. Preferentemente tiene que evaluarse, a este respecto, en este caso, el cambio de la temperatura media del medio caloportador a través de un miembro de diferencia del primer orden. Mediante la elección de una constante de tiempo Tw adecuada y una amplificación Kw adecuada de este miembro de diferencia es posible así un cálculo previo casi exacto de las cantidades de calor almacenadas.

Para la amplificación de ambos miembros de diferencia tiene que emplearse preferentemente el producto de la masa y la capacidad térmica en el primer caso del material de tubo y en el segundo caso del medio caloportador. Adicionalmente, este producto tiene que dividirse todavía entre la constante de tiempo del miembro de diferencia correspondiente. La constante de tiempo de ambos miembros de diferencia puede distinguirse y tiene que acoplarse preferentemente a los tiempos de paso del vapor, del medio caloportador o una combinación adecuada de ambas variables. Si se corrige el consumo de calor calculado para alcanzar la temperatura final por el lado de vapor por estas dos corrientes térmicas que se originan para el caso transitorio, tiene lugar, mediante el procedimiento de regulación descrito en este caso, una adaptación correspondiente de la corriente másica requerida del medio

caloportador W, de modo que también en el caso transitorio puede regularse la temperatura de salida del recalentador intermedio por el lado de vapor con las menos variaciones posibles.

En caso necesario, a este procedimiento con carácter predictivo, como se representa en la Figura 2, puede superponerse una regulación 70 adicional, que en caso de una desviación presente de manera estacionaria de la temperatura de vapor en la salida del recalentador intermedio Z medida por medio de un sensor de temperatura DT70 con respecto al valor teórico de temperatura predefinido por el miembro de ajuste 22, la elimina de manera duradera. Pero, a este respecto, ha de tenerse en cuenta que esta regulación 70 superpuesta solo debe intervenir para la corrección y, por tanto, debe presentar con respecto a la tarea de regulación total un comportamiento de regulación relativamente lento.

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para hacer funcionar una central eléctrica termosolar en la que se calienta vapor (D) en un recalentador intermedio (Z) en el circuito de agua-vapor por un medio caloportador (W) calentado de manera termosolar hasta un valor de temperatura teórico ajustable en la salida, caracterizado porque para el calentamiento del vapor (D) hasta un valor de temperatura teórico ajustado se regula una corriente másica del medio caloportador (W) que entra en el recalentador intermedio (Z) en función de una diferencia de entalpía determinada del medio caloportador (W) entre su entrada y salida en y del recalentador intermedio (Z) y una diferencia de entalpía del vapor (D) determinada entre su salida y entrada de y en el recalentador intermedio (Z).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque para determinar la entalpía del vapor (D) en la entrada y la entalpía del medio caloportador (W) en la entrada y salida se recurre en cada caso a valores de presión reales y valores de temperatura reales medidos, y para determinar la entalpía del vapor (D) en la salida se recurre a un valor de presión real medido del vapor (D) en la salida y al valor de temperatura teórico ajustado de la salida de vapor.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque para la regulación de la corriente másica del medio caloportador (W) que entra en el recalentador intermedio (Z) se especifica un valor teórico de corriente másica a partir del cociente del producto de la diferencia de entalpía del vapor (D) y una variable característica que caracteriza una corriente másica del vapor (D) entrante con la diferencia de entalpía del medio caloportador (W).

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque para la regulación de la corriente másica del medio caloportador (W) se considera además una energía térmica acumulada o descargada en paredes de tubo del recalentador intermedio (Z).

5. Procedimiento según las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque para la regulación de la corriente másica del medio caloportador (W) se considera además una energía térmica acumulada o descargada en el medio caloportador (W).

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque para la regulación de la corriente másica del medio caloportador (W) se considera un valor de temperatura real medido en la salida del vapor (D) a partir del recalentador intermedio (Z).

7. Dispositivo para hacer funcionar una central eléctrica termosolar en la que se calienta vapor (D) en un recalentador intermedio (Z) en el circuito de agua-vapor por un medio caloportador (W) calentado de manera termosolar hasta un valor de temperatura teórico ajustable en la salida, caracterizado por un equipo de regulación (K) para una corriente másica del medio caloportador (W) que entra en el recalentador intermedio (Z),

- y un equipo de guía de valor teórico de corriente másica para guiar el equipo de regulación en función de una diferencia de entalpía determinada del medio caloportador (W) entre su entrada y salida en y del recalentador intermedio (Z) y una diferencia de entalpía determinada del vapor (D) entre su salida y entrada de y en el recalentador intermedio (Z), que presenta un primer y un segundo módulo (10, 11) para determinar la entalpía del medio caloportador (W) en la entrada y salida así como un tercer y un cuarto módulo (20, 21) para determinar la entalpía del vapor (D) en la entrada y salida.

8. Dispositivo según la reivindicación 7, caracterizado porque el equipo de guía de valor teórico de corriente másica presenta un miembro de ajuste (22) con el que puede predefinirse para el cuarto módulo (21) un valor de temperatura teórico seleccionado del vapor (D) en la salida.

9. Dispositivo según la reivindicación 7 u 8, caracterizado porque para determinar las entalpías en las entradas y/o salidas del vapor (D) y/o del medio caloportador (W) de y en el recalentador intermedio (Z) están previstos sensores de presión (WP10, WP11, DP20, DP21) y sensores de temperatura (WT10, WT11, DT20, DT70) para la medición de la presión y de la temperatura del vapor (D) y del medio caloportador (W).

10. Dispositivo según una de las reivindicaciones 7 a 9, presentando el equipo de guía de valor teórico de corriente másica, además:

- un primer miembro de resta (24) para restar la entalpía de entrada de vapor determinada de la entalpía de salida de vapor determinada,

- un segundo miembro de resta (12) para restar la entalpía de salida de medio caloportador determinada de la entalpía de entrada de medio caloportador determinada,

- un quinto módulo (23) para determinar una variable característica que caracteriza una corriente másica del vapor

(D) entrante,

- un miembro de multiplicación (25) para multiplicar esta variable característica por la diferencia del primer miembro de resta (24),

- un miembro de división (30) para dividir el producto del miembro de multiplicación (25) entre la diferencia del segundo miembro de resta (12).

11. Dispositivo según la reivindicación 10, caracterizado porque está previsto, además, un sexto módulo (50) para considerar una energía térmica acumulada o descargada en paredes de tubo del recalentador intermedio (Z) y cuyo valor resultante se suma por un miembro de suma (60) antes del miembro de división (30) al producto del miembro de multiplicación (25).

12. Dispositivo según la reivindicación 10 u 11, caracterizado porque está previsto, además, un séptimo módulo (55) para considerar una energía térmica acumulada o descargada en el medio caloportador (W) y cuyo valor resultante se suma por un miembro de suma (60) antes del miembro de división (30) al producto del miembro de multiplicación (25).

13. Dispositivo según una de las reivindicaciones 10 a 12, caracterizado porque está previsto un módulo de guía (70) que se superpone al equipo de guía de valor teórico de corriente másica que, en caso de desviaciones que están presentes de manera estacionaria entre temperatura de salida del vapor medida y valor de temperatura teórico ajustado, corrige el cociente presente en la salida del miembro de división (30) por medio de un miembro de multiplicación adicional.

14. Central eléctrica de canales parabólicos con un medio caloportador (W) calentado de manera termosolar, un recalentador intermedio (Z) en el circuito de agua-vapor en el que se calienta vapor (D) por el medio caloportador (W) hasta un valor de temperatura teórico ajustable en la salida y un dispositivo configurado según una de las reivindicaciones 7 a 13 para la regulación de una corriente másica del medio caloportador (W) que entra en el recalentador intermedio (Z).

15. Central eléctrica de canales parabólicos según la reivindicación 14, caracterizado porque el medio caloportador (W) es aceite térmico.

FIG 1

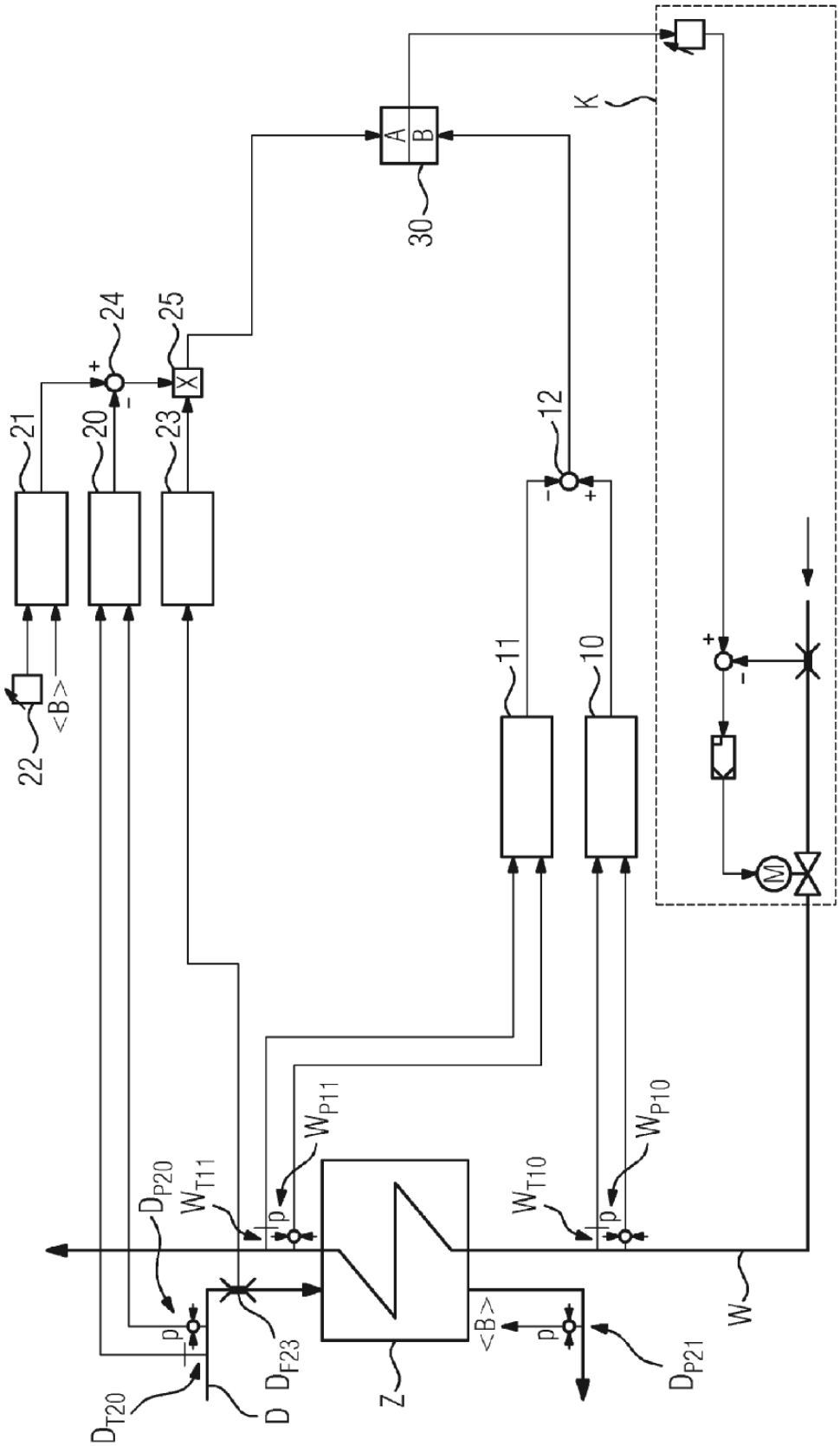
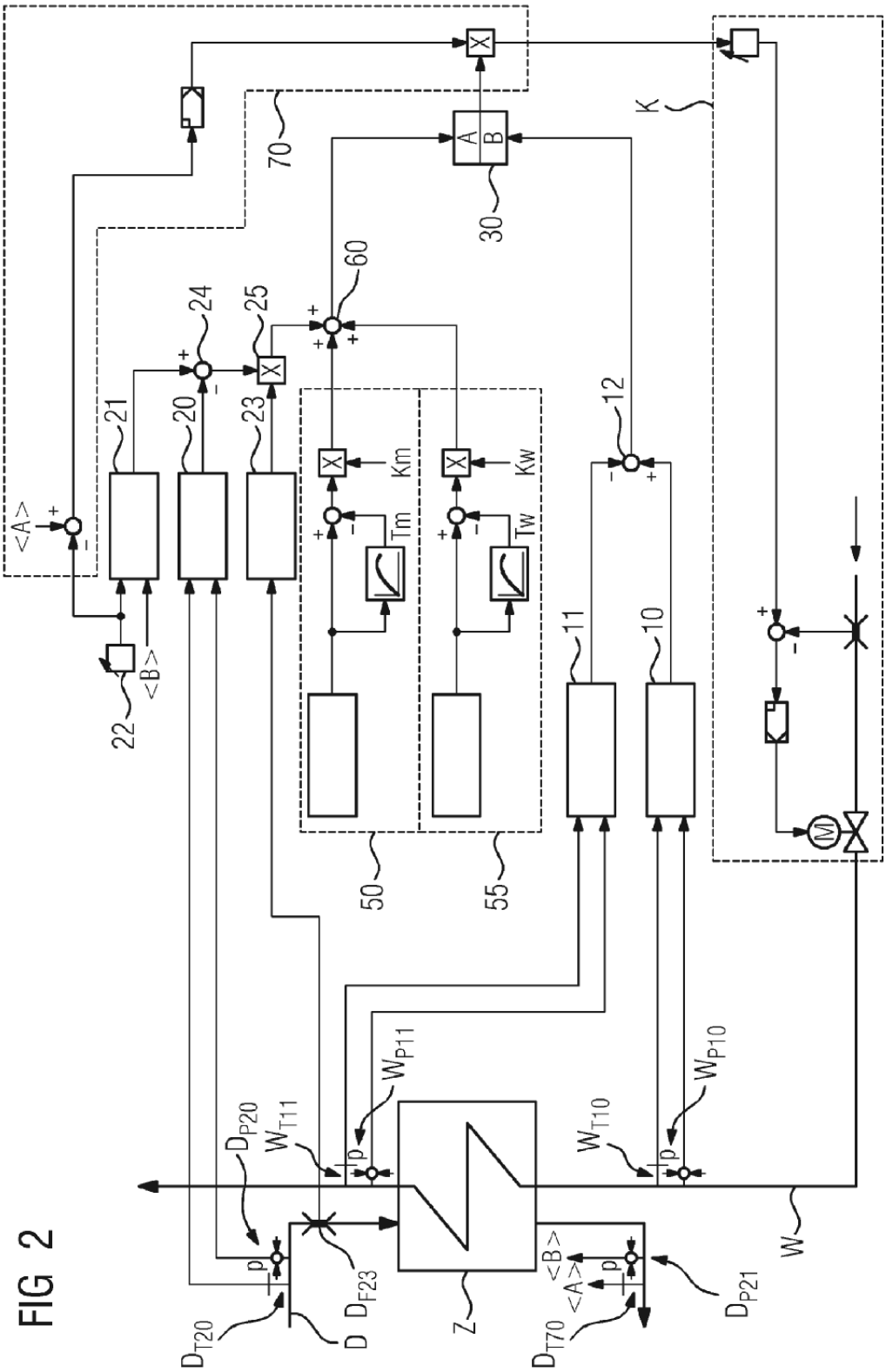

K
A
B
30
24
25
21
20
23
12
22
<B>
11
10
$W_{P11}$
$W_{P10}$
$D_{P20}$
$W_{T11}$
$W_{T10}$
$D_{T20}$
D
$D_{F23}$
Z
<B>
$D_{P21}$
W

FIG 2


K
70
30
60
24
25
21
20
23
12
Km
Kw
Tm
Tw
<A>
<B>
22
11
10
50
55
$W_{P11}$
$W_{P10}$
$D_{P20}$
$W_{T11}$
$W_{T10}$
$D_{F23}$
$D_{T20}$
D
Z
$D_{T70}$
$D_{P21}$
W