(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 630 018**

(51) Int. CI.:

F01K 13/02 (2006.01)
F22B 1/00 (2006.01)
F22B 35/10 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.02.2012 PCT/EP2012/051942**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **23.08.2012 WO12110344**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.02.2012 E 12704388 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2017 EP 2638251**

(54) Título: **Procedimiento para hacer funcionar una central heliotérmica de colectores cilindro-parabólicos**

(30) Prioridad:

17.02.2011 DE 102011004269

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.08.2017

(73) Titular/es:

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Strasse 1
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 para hacer funcionar una central heliotérmica de colectores cilindro-parabólicos

La invención hace referencia a un procedimiento para hacer funcionar un generador de vapor heliotérmico caldeado indirectamente con un medio portador de calor, en el que en el lado del medio hidrodinámico a un dispositivo para ajustar la corriente másica de agua de alimentación Ḿ se alimenta un valor nominal Ḿs para la corriente másica de agua de alimentación Ḿ. Asimismo hace referencia a un generador de vapor heliotérmico caldeado indirectamente con un medio portador de calor y con un dispositivo para ajustar la corriente másica de agua de alimentación Ḿ, y a una central heliotérmica de colectores cilindro-parabólicos con un generador de vapor heliotérmico caldeado indirectamente.

A la creciente demanda energética y al cambio climático es necesario enfrentarse con el empleo de portadores energéticos sostenibles. La energía solar es uno de estos portadores energéticos sostenibles. Protege el medio ambiente, está disponible de forma inagotable y no supone ninguna carga para las siguientes generaciones.

Las centrales heliotérmicas representan una alternativa a la generación de corriente convencional. Un concepto de central ya conocido en este campo es la llamada central de colectores cilindro-parabólicos. En este tipo de central se utiliza habitualmente aceite térmico como medio portador de calor, el cual circula por los colectores cilindro-parabólicos y absorbe el calor introducido por el sol. Normalmente el calor absorbido por el aceite se usa, en un generador de vapor adicional, para generar vapor. A este respecto los tubos generadores de vapor llenos de vapor de agua son circundados por un flujo de aceite térmico caldeado, que entrega su calor a los tubos generadores de vapor más fríos. El vapor generado en los tubos propulsa después una turbina de vapor convencional.

Para el generador de vapor el principio de circulación forzada representa una posible forma de realización. A este respecto el agua de alimentación que entra en el generador de vapor se calienta, vaporiza y sobrecalienta desde un principio en un paso. El medio sobrecalentado se alimenta directamente a la turbina sin medidas adicionales (p.ej. enfriamiento a través de inyecciones adicionales). De este modo la temperatura de vapor fresco sólo puede ajustarse con precisión en conclusión mediante la elección de la corriente másica de agua de alimentación Ḿ correcta, respectivamente las fluctuaciones del volumen de agua de alimentación está ligadas directamente a las fluctuaciones de la temperatura de vapor fresco.

La corriente másica de agua de alimentación Ḿ debería modificarse de la forma más sincronizada posible respecto a la entrada de calor mediante el medio portador de calor en el generador de vapor, ya que de otro modo no puede evitarse más con seguridad una desviación de la entalpía específica del vapor fresco respecto al valor nominal a la salida del generador de vapor. Una desviación indeseada de este tipo de la entalpía específica dificulta la regulación de la temperatura del vapor fresco que sale del generador de vapor y conduce además a unas elevadas cargas sobre el material y, de este modo, a una menor vida útil de todo el generador de vapor.

En las centrales heliotérmicas existe la necesidad de combatir con efectividad las imprecisiones como consecuencia, p.ej., de variaciones en la incidencia solar con la prefijación de un valor nominal, particularmente adaptado a las necesidades en el caso de una variación de la absorción de calor total o en el caso de cambios de carga, para la corriente másica de agua de alimentación.

Precisamente en los sistemas de generación de energía basados en la heliotérmica no pueden presuponerse en conjunto unas características de sistema suficientemente estables y atribuibles a una carga de energía solar constante y predeterminada. Además de esto en estas instalaciones conformadas como generadores de vapor indirectos, una carga primaria solar sobre los colectores cilindro-parabólicos no puede aprovecharse en la misma medida como parámetro libre que en las calderas calentadas convencionalmente.

El objeto de la invención consiste por ello en proporcionar un procedimiento para hacer funcionar un generador de vapor de circulación forzada con caldeo solar, que destaque en particular en procesos no estacionarios por una fiabilidad y una calidad particularmente elevadas de capacidad de regulación. Asimismo se pretende especificar un generador de vapor heliotérmico particularmente apropiado.

El objeto de la invención basado dirigido a un procedimiento es resuelto mediante las características de la reivindicación 1.

El documento WO-A2-2012/028495 describe un generador de vapor de circulación con caldeo solar. Sin embargo, aquí el agua de alimentación se calienta directamente mediante energía solar irradiada. El D1 no describe por lo tanto y tampoco sugiere que, en el caso de un generador de vapor caldeado indirectamente, mediante el valor de corrección se corrijan efectos de almacenamiento térmico de energía acumulada y extraída en el medio portador de calor.

El documento WO-A2-2009/150055 trata un generador de vapor de circulación que no funciona heliotérmicamente, con un procedimiento de regulación similar en algunas partes al de la reivindicación 1. Sin embargo, el D2 también se caldea directamente sin un medio portador de calor en un circuito indirecto adicional. De este modo también aquí falta la posibilidad de tener en cuenta efectos de almacenamiento térmico de energía térmica acumulada y extraída desde el circuito indirecto.

Además de esto, el objeto dirigido a un generador de vapor heliotérmico caldeado indirectamente es resuelto mediante las características de la reivindicación 8.

La invención se basa con ello en la idea de aplicar un concepto de una regulación de corriente másica predictiva o previsora para un generador de vapor heliotérmico caldeado indirectamente, para mejorar la calidad de activación a la hora de ajustar la corriente másica de agua de alimentación $\acute{M}$. El núcleo de la invención consiste a este respecto, a la hora de establecer un valor nominal adecuado $\acute{M}s$ para la corriente másica de agua de alimentación $\acute{M}$, en tener en cuenta consecuentemente unos valores de corrección reconocidos de forma correspondiente. Al tener en cuenta un valor de corrección K_T es posible compensar efectos de almacenamiento térmico que, en particular en los procesos no estacionarios, se producen en forma de acumulación o extracción de energía térmica.

Esta clase de regulación de paso de agua de alimentación predictiva hace posible mantener lo más reducidas posible las desviaciones de la entalpía específica respecto al valor nominal, a la salida del generador de vapor, y las fluctuaciones de temperatura indeseablemente grandes de ello resultantes en cualquier estado operacional del generador de vapor, es decir, en particular también en estados transitorios o en cambios de carga. A este respecto se proporcionan en particular también, en el caso de cambios de carga, los valores nominales de agua de alimentación necesarios en función del estado operacional actual o a esperar en un futuro próximo.

En una conformación ventajosa del procedimiento se corrigen mediante el valor de corrección K_T los efectos de almacenamiento térmico de la energía térmica acumulada y extraída en las paredes tubulares del generador de vapor heliotérmico. Alternativa o adicionalmente a tener en cuenta la energía térmica de las paredes tubulares, mediante el valor de corrección K_T se corrigen también ventajosamente los efectos de almacenamiento térmico de la energía térmica acumulada y extraída en el medio portador de calor.

En otra conformación ventajosa del procedimiento, a lah ora de ajustar el valor nominal $\acute{M}_s$ se tiene en cuenta asimismo la cantidad de calor total $\bar{Q}$ del generador de vapor heliotérmico, en donde la cantidad de calor total $\bar{Q}$ se establece a partir, por un lado, de una diferencia de entalpía entre la entalpía del medio portador d calor a la entrada del generador de vapor heliotérmico y la entalpía del medio portador de calor a la salida del generador de vapor heliotérmico y, por otro lado, de la corriente másica medida del medio portador de calor a la entrada del generador de vapor heliotérmico.

A este respecto la potencia calorífica total $\bar{Q}$ se calcula ventajosamente a partir del producto entre la diferencia de entalpía y la corriente másica del medio portador de calor. Para establecer las entalpías del medio portador de calor a la entrada y salida del generador de vapor se llevan a cabo mediciones de temperatura adicionales, en el lado del medio portador de calor, en los puntos correspondientes. Para tener en cuenta efectos no estacionarios de la conducción de calor a través de la pared del generador de vapor, estos valores de medición para calcular la entalpía pueden retardarse a este respecto, de forma insignificante, por ejemplo a través de un elemento PT3.

Para establecer el valor nominal de corriente másica de agua de alimentación $\acute{M}_s$, al menos para el funcionamiento con carga estacionario, se divide la potencia calorífica total $\bar{Q}$ del medio portador de calor por el margen de caldeo del agua de alimentación (aumento de entalpía deseado). Para establecer el margen de caldeo del agua de alimentación se necesitan las entalpías en el lado del vapor de agua a la entrada y salida del generador de vapor. Para ello se miden para establecer la entalpía de entrada la temperatura y la presión a la entrada del generador de vapor, en el lado del medio de circulación, y se transforma en una entalpía real correspondiente. A la salida del generador de vapor se detecta también con técnica de medición la presión en el lado del medio de circulación y después, teniendo en cuenta la temperatura de vapor fresco deseada (valor nominal de temperatura) se convierte en una entalpía de valor nominal correspondiente. El margen de caldeo del agua de alimentación está formado por la diferencia entre la entalpía de valor nominal a la salida del generador de vapor y la entalpía real a la entrada del generador de vapor.

De este modo se hace posible un cálculo del volumen de agua de alimentación necesario, particularmente adaptado a las necesidades, orientado al estado del estado real y pre-controlado, sobre la base de un equilibrado del agua de alimentación.

En un perfeccionamiento particularmente ventajoso del procedimiento, a la hora de ajustar el valor nominal $\acute{M}_s$ se tiene en cuenta asimismo un valor de corrección K_F, en donde mediante el valor de corrección K_F se corrigen efectos de acumulación del generador de vapor heliotérmico en el lado del vapor de agua.

Además de esto puede corregirse adicionalmente la circulación a través del generador de vapor determinada con el establecimiento predictivo del valor nominal de agua de alimentación mediante circuitos reguladores superpuestos, de tal manera que el valor nominal de temperatura de vapor fresco requerido a la salida del generador de vapor puede también alcanzarse realmente de forma permanente. Para la regulación de correcciones de la corriente másica de agua de alimentación previamente calculada debe tenerse en cuenta, sin embargo, que esto sólo puede realizarse muy lentamente y con una reducida amplificación del regulador por motivos de estabilidad del regulador. Las desviaciones temporales intensas respecto al valor nominal prefijado, que se producen a causa de mecanismos físicos como consecuencia de un modo de funcionamiento no estacionario del generador de vapor heliotérmico caldeado con un medio portador de calor, sólo pueden reducirse de forma insignificante o en absoluto mediante estos circuitos reguladores de correcciones. Por ello es necesario fortalecer mediante medidas adicionales el establecimiento de valor nominal del agua de alimentación, con la finalidad de minimizar las desviaciones temporales respecto al valor nominal prefijado también durante unos procesos transitorios más rápidos.

Partiendo de esta finalidad, en este perfeccionamiento particular del procedimiento conforme a la invención se tienen en cuenta, además del valor de corrección K_T, mediante un valor de corrección K_F los procesos de acumulación y extracción en el lado del agua de alimentación dentro de los tubos del generador de vapor. Mediante la aplicación de ambos valores de corrección K_T y K_F puede reaccionarse de forma adecuada ante mecanismos físicos que, en funcionamiento no estacionario, actúen temporalmente sobre la circulación a través del generador de vapor en el lado del vapor de agua y, de este modo, en el lado del medio de circulación desembocan en desviaciones de la verdadera entalpía a la salida del generador de vapor con respecto al valor nominal prefijado. Para establecer el valor de corrección K_T debe diferenciarse entre dos mecanismos diferentes.

En los procesos no estacionarios varían en el lado del medio de circulación, en el generador de vapor, en general los valores de estado termodinámicos como por ejemplo la temperatura de vapor fresco, la presión (para el caso sub-crítico de este modo también la temperatura de ebullición del medio de circulación) y la temperatura del agua de alimentación. Como consecuencia de estas variaciones tampoco es constante la temperatura del material de los tubos del generador de vapor, y aumenta o se reduce según el sentido. En consecuencia se acumula o extrae energía térmica en o desde las paredes tubulares. En comparación con la potencia calorífica total $\bar{Q}$ equilibrada, que entrega el medio portador de calor al agua de alimentación, el proceso de generación de vapor dispone según esto temporalmente de más o menos calor según el sentido de la variación de temperatura de material. En el caso de un valor nominal de entalpía o valor nominal de temperatura de vapor fresco a la salida del generador de vapor heliotérmico es imprescindible tener en cuenta esta influencia nada despreciable en el concepto de regulación, para calcular previamente el valor nominal de corriente másica del agua de alimentación $\acute{M}_S$.

Mediante un elemento diferenciador de primer orden (elemento D1) puede reproducirse mediante técnica de regulación este efecto físico. Como señal de entrada del elemento diferenciador debe definirse y utilizarse una temperatura de material media de todo los tubos del generador de vapor. Aquí puede terminarse la temperatura de material media por ejemplo a través de las magnitudes, conocidas del proceso, temperatura de vapor fresco, presión del sistema, temperatura del agua de alimentación y, dado el caso, también la temperatura de material media teniendo en cuenta las temperaturas medidas del medio portador de calor. Si a continuación varía esta temperatura de material media y se multiplica la salida del elemento diferenciador por la masa de todos los tubos del generador de vapor y la capacidad térmica específica del material de evaporador y por el valor inverso de las constantes de tiempo del elemento diferenciador, pueden cuantificarse las cantidades de calor acumuladas en o extraídas de la pared tubular. Mediante la elección de una constante de tiempo adecuada de este elemento diferencial puede reproducirse de forma relativamente precisa el comportamiento en el tiempo de los efectos de acumulación descritos, de tal manera que este efecto adicional de acumulación o extracción de calor de las masas metálicas basado en procesos no estacionarios puede calcularse directamente. Esto es aplicable en la misma medida a sistemas sub- y sobre-críticos.

Alternativamente también sería concebible una medición directa de la temperatura de material en puntos característicos de los tubos del generador de vapor. En estas circunstancias podría tenerse en cuenta una variación de la temperatura del metal de forma directa. En este caso debería adaptarse tanto el número de elementos diferenciadores y sus factores de amplificación correspondientes (fundamentalmente masa de los tubos del generador de vapor) al número de mediciones de temperatura del metal. La ventaja de esta variante aun así más complicada en cuanto a técnica de medición desembocaría en una determinación más exacta de la cantidad de calor acumulada o extraída.

Además de estos procesos de acumulación y extracción de la energía calorífica adicional procedente del material de los tubos del generador de vapor, también juegan un papel nada despreciable en el funcionamiento no estacionario del generador de vapor heliotérmico los procesos de acumulación y extracción de energía térmica del medio portador de calor. Si se reduce por ejemplo el nivel medio de temperatura del medio portador de calor en todo el generador de vapor se libera calor adicional, que es absorbido adicionalmente por los tubos del generador de vapor. Por ello se dispone de más potencia calorífica para el proceso de generación de vapor en comparación con la potencia calorífica total $\bar{Q}$ equilibrada. Para el caso contrario se dispone consecuentemente de menos calor. Estos efectos deben tenerse en cuenta imprescindiblemente también para la determinación previa correcta del valor

nominal de corriente másica de agua de alimentación $\dot{M}_s$ necesario. De forma preferida también aquí puede establecerse la potencia calorífica adicional acumulada o extraída con ayuda de un elemento diferenciador de primer orden (elemento DT1) con una constante de tiempo apropiada. Para ello es necesario también establecer una temperatura media del medio portador de calor, que debe utilizarse como señal de entrada de este elemento DT1. La temperatura media puede determinarse funcionalmente, de forma preferida, a partir de las temperaturas medidas del medio portador de calor a la entrada y salida del generador de vapor. También es concebible, para establecer esta temperatura media del medio portador de calor, la utilización de otros parámetros de proceso conocidos, otros valores característicos u otras mediciones de temperatura adicionales a lo largo del recorrido de circulación del medio portador de calor en el generador de vapor. De forma preferida la señal de salida del elemento DT1 se multiplica por el volumen que adopta el medio portador de calor en la cámara equilibradora del generador de vapor, la densidad del medio portador de calor y el valor inverso de las constantes de tiempo del elemento DT1. A este respecto es necesario tener en cuenta que tanto la densidad como la capacidad calorífica específica del medio portador de calor dependen de la temperatura, y pueden determinarse por ejemplo utilizando la temperatura media ya establecida del medio portador de calor. Dadas las circunstancias se cuantifica también en este caso la potencia calorífica adicional.

Si finalmente se añaden ambas cantidades de calor adicionales procedentes de la pared tubular y del medio portador de calor, se conoce el valor de corrección K_T, que debe sustraerse de la potencia calorífica total $\dot{Q}$ equilibrada para determinar el valor nominal de corriente másica de agua de alimentación $\dot{M}_s$.

Con el segundo valor de corrección K_F, que actúa directamente corrigiendo el valor nominal de la corriente másica de agua de alimentación $\dot{M}_s$, se compensan eficazmente además otras influencias perturbadoras en el circuito de vapor de agua del generador de vapor heliotérmico, que se producen a causa de un funcionamiento no estacionario. Con relación a esto, las perturbaciones de la temperatura del agua de alimentación a la entrada del generador de vapor heliotérmico influyen decisivamente en la circulación a través del mismo. Concretamente esto significa que conforme desciende la temperatura del agua de alimentación disminuye el volumen específico del medio de circulación en la zona de entrada del generador de vapor heliotérmico. A causa de este proceso se necesita agua de alimentación adicional, la cual tiene que llenar el volumen todavía no extraído de los tubos del generador de vapor (se alimenta agua de alimentación). Si por el contrario aumenta la temperatura del agua de alimentación, se produce el mecanismo inverso. Si ahora como consecuencia de procesos no estacionarios la temperatura del agua de alimentación sufre variaciones a la entrada del generador de vapor heliotérmico, con los procesos de acumulación y extracción en el lado del agua de alimentación de ello resultantes la corriente másica de entrada y salida del generador de vapor heliotérmico no es idéntica. Esto tiene una influencia directa en la entalpía de salida del generador de vapor (temperatura de vapor fresco), que bajo estas circunstancias no puede permanecer constante incluso con una carga calorífica constante. Por ello los efectos de las fluctuaciones de la temperatura del agua de alimentación a la entrada del generador de vapor heliotérmico deben compensarse también mediante contramedidas a la hora de establecer el valor nominal del agua de alimentación (aumento o disminución del valor nominal de corriente másica de agua de alimentación $\dot{M}_s$). Si también se utiliza aquí un elemento diferenciador adicional de primer orden, pueden evitarse sin embargo efectivamente a la salida del generador de vapor heliotérmico las fluctuaciones de entalpía (fluctuaciones de la temperatura de vapor fresco) si se elige una señal de entrada apropiada (p.ej. infra-enfriamiento de entrada del generador de vapor, entalpía de entrada del generador de vapor o la propia temperatura de agua de alimentación).

En una forma de realización preferida conforme a la invención el generador de vapor heliotérmico está integrado en una central heliotérmica de colectores cilindro-parabólicos con varios colectores cilindro-parabólicos, mediante los cuales se calienta heliotérmicamente el medio portador de calor. Si se emplea el establecimiento de valor nominal del agua de alimentación conforme a la invención en generadores de vapor heliotérmicos caldeados por aceite, pueden asegurarse una temperaturas de vapor fresco constantes incluso para estados operacionales marcadamente no estacionarios, como los que se producen cada vez más en centrales con caldeo solar (p.ej. paso de nubes). Además de un modo de circulación de este modo seguro en el caso de unas condiciones meteorológicas variables, mediante un concepto que cuida el material puede mejorarse la disponibilidad de toda la instalación de la central. Además de esto el concepto conforme a la invención es apropiado también para un uso modular en varios generadores de vapor heliotérmicos de una única central de colectores cilindro-parabólicos. El concepto puede utilizarse adicionalmente también sin unas modificaciones dignas de mención en combinación con otros componentes, como por ejemplo refrigeradores de inyección.

El medio portador de calor puede ser por ejemplo un aceite térmico o un caldo salino. También es posible el empleo de caldos metálicos adecuados como medio portador de calor.

El objeto de la invención dirigido a un dispositivo es resuelto mediante las características de la reivindicación 9. A este respecto el generador de vapor heliotérmico caldeado indirectamente está integrado de forma particularmente ventajosa en una central heliotérmica de colectores cilindro-parabólicos, y para la alimentación del medio portador de calor sobrecalentado unido a varios colectores cilindro-parabólicos, que pueden recibir directamente una incidencia solar focalizada. El objeto de la invención dirigido a un dispositivo es resuelto también mediante las características de la reivindicación 12.

Las ventajas alcanzadas con la invención consisten en particular en que al tener en cuenta la derivación respecto al tiempo de la entalpía, la temperatura o la densidad del agua de alimentación a la entrada del generador de vapor, se hace posible una corrección del valor nominal establecido en el marco de una regulación predictiva de la corriente másica para la corriente másica de agua de alimentación $\acute{M}_s$, con la que también pueden tenerse en cuenta adecuadamente los procesos de acumulación y extracción de energía térmica del material tubular. De este modo se hace posible un establecimiento cualitativamente particularmente de alto valor de un valor nominal adaptado a las necesidades para la corriente másica de agua de alimentación $\acute{M}$, precisamente si se producen cambios de carga u otros procesos transitorios.

En las figuras 1, 2, 3 y 4 se explican con más detalle unos ejemplos de realización de la invención. Aquí muestran:

la fig. 1 una exposición esquemática de un generador de vapor heliotérmico caldeado indirectamente con regulación de la circulación de agua de alimentación para el funcionamiento estacionario,

la fig. 2 una exposición esquemática de un generador de vapor heliotérmico caldeado indirectamente en un perfeccionamiento para el funcionamiento no estacionario con establecimiento predictivo de valor nominal del agua de alimentación,

la fig. 3 una exposición esquemática de un generador de vapor heliotérmico caldeado indirectamente en una forma de realización alternativa para el funcionamiento no estacionario con establecimiento predictivo de valor nominal del agua de alimentación,

la fig. 4 una exposición esquemática de un generador de vapor heliotérmico caldeado indirectamente, en un perfeccionamiento particular para el funcionamiento no estacionario con establecimiento predictivo de valor nominal del agua de alimentación.

La fig. 1 muestra un esquema de conexiones regulador esquemático de un establecimiento de valor nominal de agua de alimentación para el funcionamiento no estacionario de un generador de vapor heliotérmico 3 en una central de colectores cilindro-parabólicos 1. Se ha representado el generador de vapor heliotérmico 3 caldeado indirectamente, un dispositivo para ajustar la corriente másica de agua de alimentación 5 y una regulación de circulación de agua de alimentación 11 como componentes fundamentales. El circuito forma parte de una central heliotérmica de colectores cilindro-parabólicos 1, la cual comprende asimismo unos colectores cilindro-parabólicos no representados aquí con más detalle y una parte de central con una turbina de gas.

El generador de vapor heliotérmico 3 está diseñado para alimentar aceite térmico 4 como medio portador de calor y unido en el lado del aceite térmico, para la alimentación a un conducto de alimentación de aceite térmico 13 y para la evacuación a un conducto de evacuación de aceite térmico 14. Mediante el generador de vapor heliotérmico 3 puede transmitirse de este modo energía calorífica desde el aceite térmico 4 muy caldeado al agua de alimentación, en donde el agua de alimentación se vaporiza.

El generador de vapor heliotérmico 3 está diseñado además para recibir de forma regulada agua de alimentación. El dispositivo para ajustar la corriente másica de agua de alimentación 5 comprende un motor de ajuste 18, que activa una válvula de mariposa 19, de tal manera que a través de una activación correspondiente de la válvula de mariposa 19 puede ajustarse el volumen de agua de alimentación, transportado desde una bomba de agua de alimentación 17 en dirección al generador de vapor heliotérmico 3, o la corriente másica de agua de alimentación $\acute{M}_s$. Para establecer un valor característico actual para la corriente másica de agua de alimentación $\acute{M}_s$ alimentada está preconectado a la válvula de mariposa 19, en el conducto de alimentación de agua de alimentación, un dispositivo de medición 20 para establecer la corriente másica de agua de alimentación $\acute{M}_s$ a través del conducto de agua de alimentación. El motor de ajuste 18 está activado a través de un elemento regulador 21, que recibe en el lado de entrada un valor nominal $\acute{M}_s$ alimentado a través de una línea de datos 22 para la corriente másica de agua de alimentación $\acute{M}$ y el valor real actual de la corriente másica de agua de alimentación $\acute{M}$, establecida a través del dispositivo de medición 20. Mediante formación diferencial entre estas dos señales se transmite una necesidad de seguimiento, de tal manera que en el caso de un desvío del valor real respecto al nominal se produce un seguimiento correspondiente de la válvula de mariposa 19 a través de la activación del motor 18.

Para establecer un valor nominal $\acute{M}_s$ para la corriente másica de agua de alimentación $\acute{M}$, la línea de datos 22 está unida en el lado de entrada a la regulación de circulación de agua de alimentación 11 diseñada para prefijar el valor nominal $\acute{M}_s$ para la corriente másica de agua de alimentación $\acute{M}$.

El valor nominal $\acute{M}_s$ se establece en base a un equilibro de corriente calorífica en el generador de vapor heliotérmico 3, a través de la relación entre la corriente calorífica transmitida actualmente en el generador de vapor heliotérmico 3 mediante el aceite térmico 4 al agua de alimentación, por un lado, y un aumento de entalpía de valor nominal prefijada con relación al estado deseado del vapor fresco, por otro lado. Para proporcionar el valor nominal $\acute{M}_s$, la regulación de circulación de agua de alimentación 11 presenta un elemento divisor 23.

El contador se proporciona al elemento divisor 23 mediante un módulo funcional 24. El módulo funcional 24 establece la potencia calorífica total $\dot{Q}$ introducida en el generador de vapor heliotérmico 3 mediante la multiplicación de la diferencia de entalpía del aceite térmico 4 a la entrada y a la salida del generador de vapor heliotérmico 3 por la corriente másica del aceite térmico 4. Para proporcionar la corriente másica del aceite térmico 4 antes de la entrada en el generador de vapor heliotérmico, el módulo funcional 24 está unido a un dispositivo de medición 31, que está conectado al conducto de alimentación de aceite térmico 13. Para proporcionar la diferencia de entalpía del aceite térmico 4, el módulo funcional 24 está unido a una unidad de valoración 25.

A la unidad de valoración 25 están conectados un primer módulo 27 para calcular la entalpía a la entrada del generador de vapor heliotérmico 3 y un segundo módulo 28 para calcular la entalpía a la salida del generador de vapor heliotérmico 3. El primer módulo 27 está conectado a una primera unidad de medición de temperatura de aceite 29, que está conectada al conducto de alimentación de aceite térmico 13 a la entrada del generador de vapor heliotérmico 3, y el segundo módulo 28 está conectado a una segunda unidad de medición de temperatura de aceite 30, que está conectada al conducto de evacuación de aceite térmico 14 a la salida del generador de vapor heliotérmico 3. La entrada del aceite térmico designa a este respecto una zona del generador de vapor heliotérmico 3 en la que todavía no se ha transmitido ninguna energía calorífica del aceite térmico al agua de alimentación. Análogamente a esto, la salida del aceite térmico es una zona del generador de vapor heliotérmico 3 en la que la energía calorífica del aceite térmico se ha transmitido de forma correspondiente al agua de alimentación. La medición de la corriente másica del aceite térmico se realiza antes de la entrada en el generador de vapor.

Para proporcionar el denominador, es decir, el valor característico para el deseado aumento de entalpía (margen de caldeo), el elemento divisor 23 está unido en el lado de entrada a un módulo funcional 32. El módulo funcional 32 forma la diferencia de entalpía a partir de una entalpía nominal calculada a la salida del generador de vapor heliotérmico 3 y de una entalpía real del agua de alimentación medida antes de la entrada en el generador de vapor heliotérmico 3.

El valor real de la entalpía actual del agua de alimentación antes de la entrada en el generador de vapor heliotérmico 3 se establece mediante una unidad de valoración 33, y se transmite al módulo funcional 32. Para establecer datos de medición, la unidad de valoración 33 está unida para ello a un dispositivo de medición de presión 35 y a un dispositivo de medición de temperatura 36, en donde ambos están conectados al conducto de alimentación de agua de alimentación 15.

La entalpía nominal a la salida del generador de vapor heliotérmico 3 se calcula mediante un módulo funcional 34. Este valor nominal se establece a partir de la temperatura deseada del vapor fresco (valor nominal de la temperatura de vapor fresco) y de la presión medida a la salida del generador de vapor heliotérmico 3. Los datos sobre la presión a la salida del generador de vapor heliotérmico 3 se proporcionan al módulo funcional 34 mediante un sensor de presión 37.

Mediante una formación diferencial en el módulo funcional 32 se establece de este modo el aumento de entalpía, necesario en función del estado deseado del vapor fresco, del medio de circulación en el generador de vapor heliotérmico 3, que se utiliza como denominador en el elemento divisor 23. El elemento divisor 23 calcula a partir de aquí la señal de corriente másica necesaria.

Como ampliación de la fig. 1, la fig. 2 muestra un esquema de conexiones regulador para el establecimiento predictivo del valor nominal de agua de alimentación para el funcionamiento no estacionario.

En los procesos no estacionarios varían en el generador de vapor generalmente los valores de estado termodinámicos, como por ejemplo la temperatura de vapor fresco, la presión (de este modo para sistemas subcríticos también la temperatura de ebullición del medio de circulación) y la temperatura del agua de alimentación. Como consecuencia de estas variaciones tampoco es constante la temperatura de material de los tubos del generador de vapor y se hace mayor o menor según el sentido. En consecuencia se acumula energía térmica en las paredes tubulares o se extrae de las mismas. En comparación con el calor equilibrado del aceite térmico se dispone según esto temporalmente de más o menos calor para el proceso de generación de vapor del medio de circulación, según el sentido de la variación de temperatura de material.

En el caso del valor nominal de entalpía o del valor nominal de temperatura del vapor fresco prefijado a la salida del generador de vapor heliotérmico 3 es por ello imprescindible, para el cálculo previo de la necesaria corriente másica del agua de alimentación, tener en cuenta esta influencia nada despreciable en el concepto de regulación. Conforme a la invención lo mencionado se realiza mediante un valor de corrección K_T. En el caso del valor de corrección K_T se trata de un valor característico de corriente calorífica, mediante el cual pueden establecerse los efectos de acumulación y extracción en/de los tubos del generador de vapor. Lo mencionado es aplicable en la misma medida a sistemas tanto sub-críticos como sobre-críticos.

Para tener en cuenta el valor de corrección K_T está previsto en la fig. 2, como ampliación a la fig. 1, un elemento sustractor 40, que está conectado entre el módulo funcional 24 y el elemento divisor 23. El elemento sustractor 40 forma la diferencia entre la potencia calorífica total $\dot{Q}$ (absorción total de calor) introducida en el generador de vapor y el valor de corrección K_T, y transmite el resultado al elemento divisor 23 como cantidad de calor introducida $\dot{Q}_{Korr}$ corregida.

El valor de corrección K_T se proporciona al elemento sustractor mediante un elemento diferencial 41. Para el elemento diferencial 41 debe definirse y utilizarse como señal de entrada una temperatura de material media de todos los tubos del generador de vapor. Aquí puede determinarse la temperatura de material media por ejemplo a través de las magnitudes conocidas del proceso temperatura del vapor fresco, presión del sistema y temperatura del agua de alimentación. Si a continuación varía esta temperatura de material media y se multiplica esta variación en el tiempo (valorada a través del elemnto diferenciador 41) por la masa de todos los tubos del generador de vapor y la capacidad calorífica específica del material del vaporizador, pueden cuantificarse las cantidades de calor acumuladas o extraídas en/desde la pared tubular en forma del valor de corrección K_T. Mediante la elección de unas constantes de tiempo apropiadas del elemento diferenciador 41 puede reproducirse con una precisión relativa el comportamiento en el tiempo de los efectos de acumulación descritos, de tal manera que este efecto adicional basado en procesos no estacionarios de acumulación o extracción de calor de las masas metálicas puede calcularse directamente.

La fig. 3 muestra una forma de realización alternativa del establecimiento predictivo de valor nominal de la corriente de agua de alimentación mostrado en la fig. 2. Además del elemento diferenciador 41, el cual establece los efectos de acumulación en las masas metálicas, está previsto otro elemento diferenciador 45, mediante el cual se establecen los efectos de acumulación de la energía térmica en el aceite térmico. El elemento diferenciador 45 valora para ello en el tiempo también parámetros conocidos del proceso, como por ejemplo la temperatura de aceite medida a la entrada del generador de vapor o a la salida del generador de vapor, o bien una temperatura de aceite media previamente determinada funcionalmente a partir de estos dos valores de medición de temperatura. Si a continuación se multiplica la señal de salida de este elemento diferenciador 45 por el volumen de aceite total, la densidad y la capacidad calorífica específica del aceite, pueden cuantificarse también las cantidades de calor acumuladas o extraídas en/desde el aceite térmico. Con unas constantes de tiempo apropiadas del elemento diferenciador 45 puede reproducirse bien el comportamiento en el tiempo de los efectos de acumulación en el aceite térmico. De este modo puede calcularse directamente este efecto adicional, basado en procesos no estacionarios, de la acumulación o extracción de calor en/desde el aceite térmico.

Las señales de salida del elemento diferenciador 41 y del elemento diferenciador 45 se suman en un elemento funcional 45 y forman el valor de corrección K_T, que se proporciona como señal de entrada al elemento sustractor 40.

La fig. 40 muestra una exposición esquemática de un generador de vapor heliotérmico caldeado indirectamente en un perfeccionamiento particular para el funcionamiento no estacionario con establecimiento predictivo del valor nominal de corriente másica del agua de alimentación.

Las perturbaciones de la temperatura del agua de alimentación a la entrada del generador de vapor heliotérmico 3 actúan predominantemente en la corriente a través del mismo. Concretamente lo mencionado significa que conforme desciende la temperatura del agua de alimentación disminuye el volumen específico del medio de circulación en la zona de entrada del generador de vapor heliotérmico 3. A causa de este proceso se necesita agua de alimentación adicional, la cual tiene que llenar el volumen todavía no extraído de los tubos del generador de vapor (se alimenta agua de alimentación). Si por el contrario aumenta la temperatura del agua de alimentación, se produce el mecanismo inverso. Si ahora como consecuencia de procesos no estacionarios la temperatura del agua de alimentación sufre variaciones a la salida del generador de vapor heliotérmico, con los procesos de acumulación y extracción en el lado del agua de alimentación de ello resultantes la corriente másica de entrada y salida del generador de vapor heliotérmico 3 no es idéntica. Esto tiene una influencia directa en la entalpía de salida del generador de vapor (temperatura de vapor fresco), que bajo estas circunstancias no puede permanecer constante incluso con una carga calorífica constante. Por ello los efectos de las fluctuaciones de las temperaturas del agua de alimentación a la entrada del generador de vapor heliotérmico 3 se compensan también mediante contramedidas a la hora de establecer el valor nominal del agua de alimentación (aumento o disminución de la corriente másica de agua de alimentación). Esto se realiza mediante el valor de corrección K_T.

Partiendo de la fig. 3, en la fig. 4 se ha representado asimismo un elemento adicionador 42, que está conectado a la línea de datos 22, y corrige el valor nominal $\acute{M}_s$ en el valor de corrección K_T. El elemento adicionador forma parte de la regulación de circulación de agua de alimentación 11. El valor de corrección K_T se alimenta al elemento adicionador 42 a través de un elemento diferenciador 43. El elemento diferenciador 43 comprende a este respecto como señal de entrada unos datos, como p.ej. infra-enfriamiento de entrada del generador de vapor, entalpía de entrada del generador de vapor o la propia temperatura de agua de alimentación. En función de esta señal de entrada el elemento diferenciador 43 debe parametrizarse con una constante de tiempo ajustada y una amplificación

apropiada, para evitar eficazmente las fluctuaciones de entalpía (fluctuaciones de la temperatura del vapor fresco) a la salida del generador de vapor heliotérmico 3.

Si se emplea el establecimiento de valor nominal de agua de alimentación conforme a la invención en generadores de vapor heliotérmicos 3 caldeados por aceite, pueden asegurarse una temperaturas de vapor fresco constantes incluso para estados operacionales fuertemente no estacionarios, como los que se producen cada vez más en centrales con caldeo solar (p.ej. paso de nubes). Además de un modo de circulación de este modo seguro en el caso de unas condiciones meteorológicas variables, mediante un concepto que cuida el material puede mejorarse la disponibilidad de toda la instalación de la central. Además de lo mencionado el concepto conforme a la invención es apropiado también para un uso modular en varios generadores de vapor heliotérmicos de una única central de colectores cilindro-parabólicos. El concepto puede utilizarse adicionalmente también sin unas modificaciones dignas de mención en combinación con otros componentes, como por ejemplo refrigeradores de inyección.

Mediante el procedimiento conforme a la invención se dispone de este modo, en función de la oferta de calor existente de la radiación solar, siempre exactamente de la corriente másica de agua de alimentación a través del generador de vapor heliotérmico 3, para garantizar la corriente másica de vapor fresco requerida o deseada a la salida del generador de vapor heliotérmico 3 (temperatura de vapor fresco) también durante procesos no estacionarios, en particular durante el paso de nubes a través del campo solar.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para hacer funcionar un generador de vapor heliotérmico (3) caldeado indirectamente con un medio portador de calor (4), que absorbe el calor introducido a través del sol y entrega agua de alimentación que entra en los tubos de generador de vapor del generador de vapor, en el que a un dispositivo (5) para ajustar la corriente másica de agua de alimentación Ṁ se alimenta un valor nominal $\dot{M}_S$ para la corriente másica de agua de alimentación Ṁ, en donde para el ajuste del valor nominal $\dot{M}_S$ para la corriente másica de agua de alimentación Ṁ se tiene en cuenta un valor de corrección K_T, mediante el cual se corrigen los efectos de almacenamiento térmico de la energía térmica acumulada y extraída en/desde el generador de vapor, en donde mediante el valor de corrección K_T se corrigen los efectos de almacenamiento térmico de la energía térmica acumulada y extraída en/desde el medio portador de calor (4).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde mediante el valor de corrección K_T se corrigen los efectos de almacenamiento térmico de la energía térmica acumulada y extraída en/desde las paredes tubulares del generador de vapor heliotérmico (3).

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 ó 2, en donde para ajustar el valor nominal $\dot{M}_S$ se tiene en cuenta el volumen de agua total Q del generador de vapor heliotérmico (3), que se establece a partir del producto entre

- la diferencia de entalpía del medio portador de calor (4) a la entrada del generador de vapor heliotérmico (3) y la entalpía del medio portador de calor (4) a la salida del generador de vapor heliotérmico (3), y

- la corriente másica medida del medio portador de calor (4) delante de la entrada del generador de vapor heliotérmico (3).

4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde para el ajuste del valor nominal $\dot{M}_S$ se tiene en cuenta asimismo un valor de corrección K_F, en donde mediante el valor de corrección K_F se corrigen los volúmenes de agua de alimentación acumulados o extraídos en/desde los tubos de generador de vapor del generador de vapor heliotérmico (3).

5. Procedimiento según la reivindicación 4, en donde el valor de corrección K_F se determina aprovechando el infra-enfriamiento de entrada de agua de alimentación, la entalpía de entrada de agua de alimentación o la temperatura de agua de alimentación.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el generador de vapor heliotérmico (3) está integrado en una central heliotérmica de colectores cilindro-parabólicos (1) con varios colectores cilindro-parabólicos (4), mediante los cuales se calienta heliotérmicamente el medio portador de calor.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en donde el medio portador de calor es un aceite térmico, un caldo salino o un caldo metálico.

8. Generador de vapor heliotérmico (3) caldeado indirectamente, con un medio portador de calor (4) y con un dispositivo (5) para ajustar la corriente másica de agua de alimentaciónl Ṁ, que es guiada en base a un valor nominal $\dot{M}_S$ para la corriente másica de agua de alimentaciónl Ṁ, en donde una regulación de circulación de agua de alimentación (11) está diseñada para prefijar el valor nominal $\dot{M}_s$ en base al procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7.

9. Generador de vapor heliotérmico (3) caldeado indirectamente según la reivindicación 8, que está integrado en una central heliotérmica de colectores cilindro-parabólicos (1), y para la alimentación del medio portador de calor (4) (sobrecalentado) está unido a varios colectores cilindro-parabólicos (2), que pueden recibir directamente una incidencia solar focalizada.

10. Generador de vapor heliotérmico (3) caldeado indirectamente según la reivindicación 8 ó 9, en donde el medio portador de calor es un aceite térmico, un caldo salino o un caldo metálico.

FIG 1

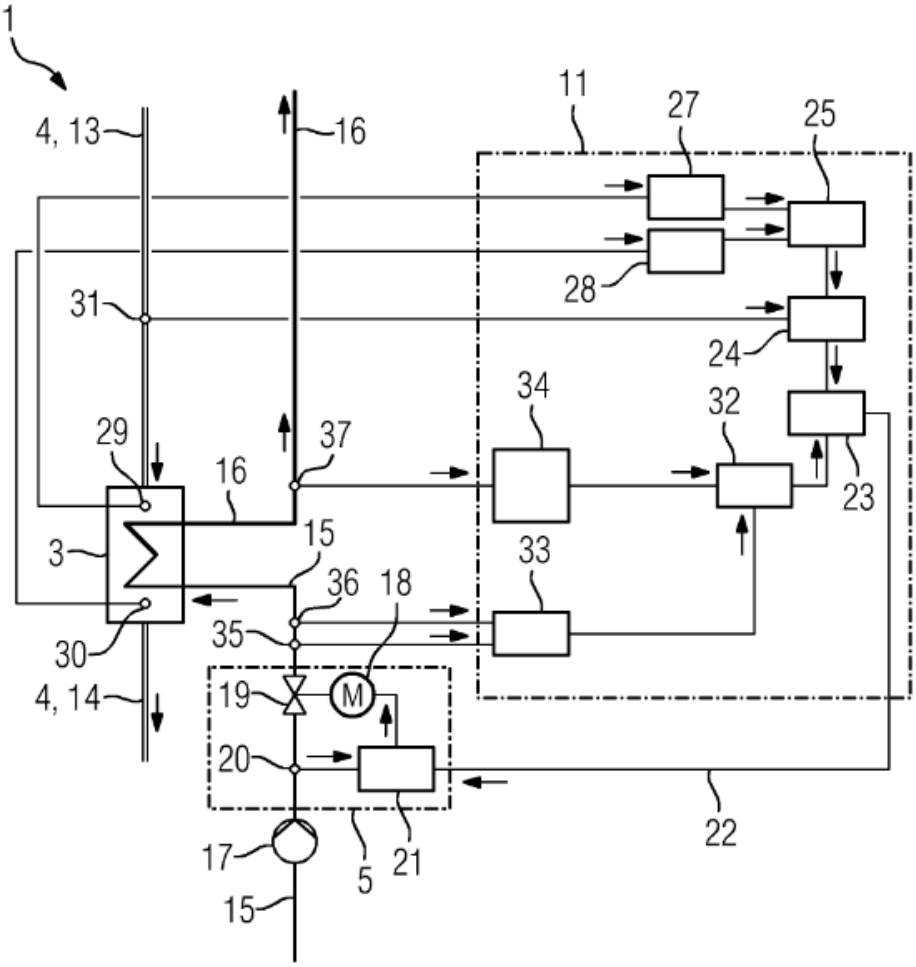

1
4, 13
16
11
27
25
28
31
24
34
32
29
37
16
23
3
15
33
36
18
35
30
M
4, 14
19
20
22
17
5
21
15

FIG 2

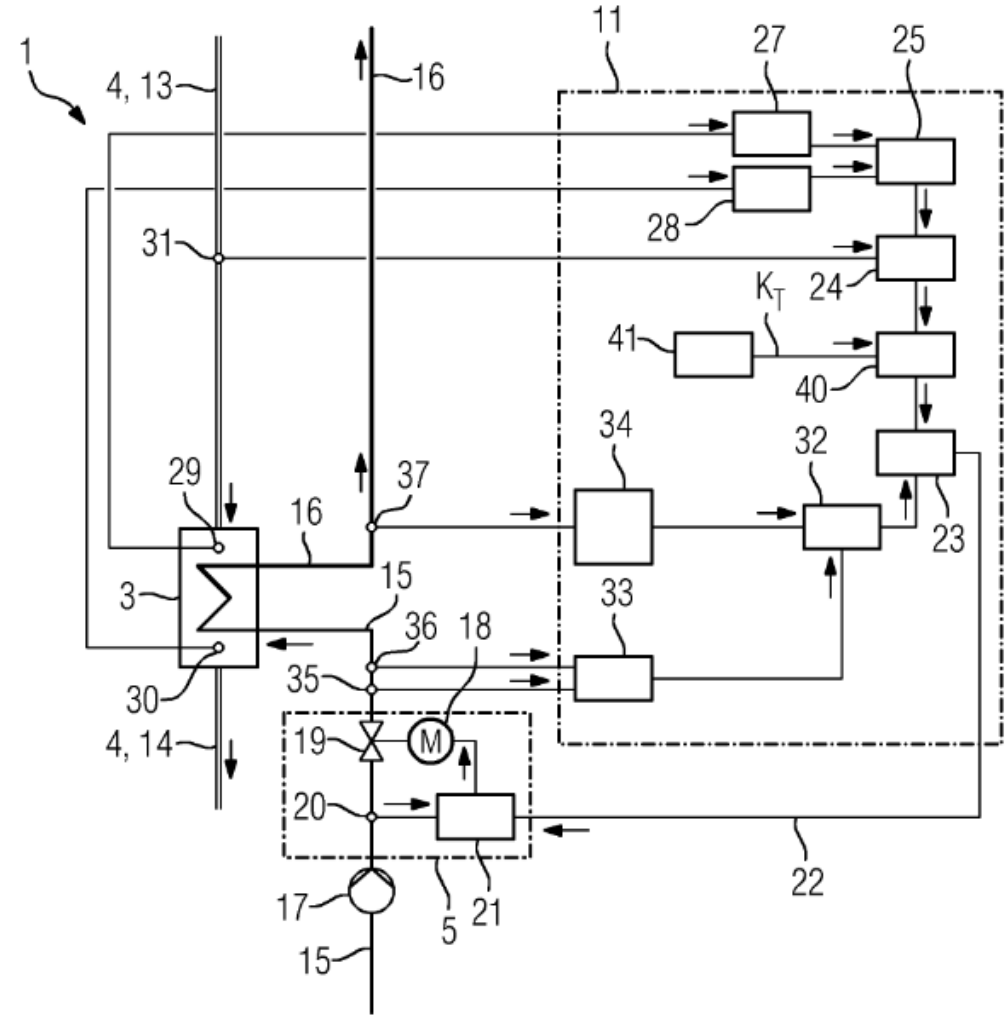

1
4, 13
16
11
27
25
28
31
K_T
24
41
40
34
32
29
37
16
23
3
15
33
36
18
35
30
4, 14
19
M
20
22
17
5
21
15

FIG 3

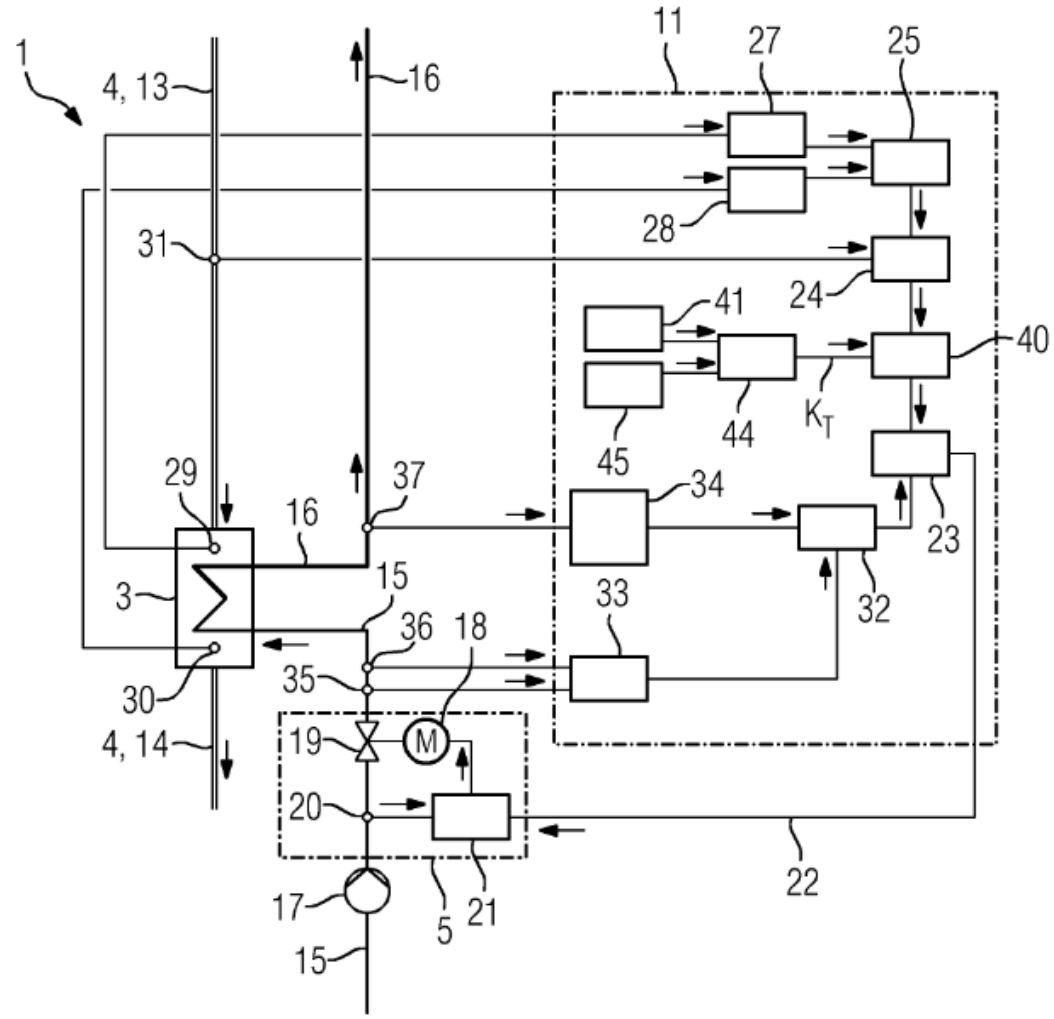
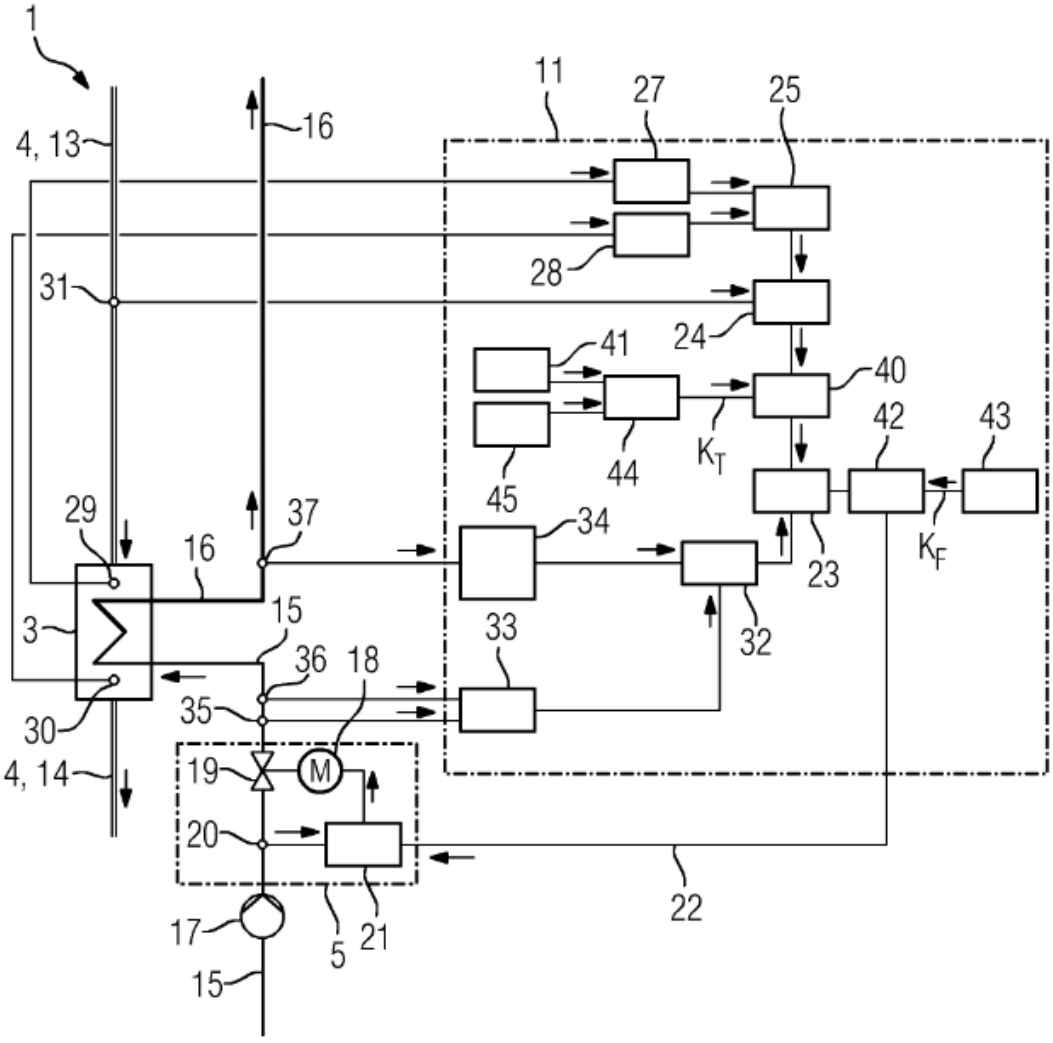

1
4, 13
16
11
27
25
28
31
24
41
40
44
K_T
45
29
37
34
16
23
3
15
33
32
36
18
35
30
19
M
4, 14
20
22
17
5
21
15

FIG 4


1
4, 13
16
11
27
25
28
31
24
41
40
44
K_T
42
43
45
29
37
34
16
23
K_F
3
15
33
36
18
32
35
30
4, 14
19
M
20
22
17
5
21
15