

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 731 134**

(51) Int. Cl.:

F03G 6/06

(2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.10.2009 PCT/EP2009/062898**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **15.04.2010 WO10040712**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.10.2009 E 09783739 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.03.2019 EP 2342458**

(54) Título: **Central eléctrica de gas y vapor operada en forma híbrida solar**

(30) Prioridad:

11.10.2008 DE 102008051384

(73) Titular/es:

**TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN (100.0%)
Helmholtzstrasse 10
01069 Dresden, DE**

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

14.11.2019

(72) Inventor/es:

**HEIDE, STEPHAN;
GAMPE, UWE y
FREIMARK, MANFRED**

(74) Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 731 134 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

Central eléctrica de gas y vapor operada en forma híbrida solar

La invención concierne a una central eléctrica de gas y vapor operada en forma híbrida solar que presenta una instalación solar, una instalación de turbina de gas con caldera de calor perdido y una instalación de turbina de vapor,

5 así como un circuito de un portador de calor para la utilización de calor solar. Asimismo, la invención concierne a un procedimiento de funcionamiento híbrido solar de la central eléctrica de gas y vapor con un proceso de turbina de gas y un proceso de turbina de vapor, en el que se acopla calor solar a los procesos por medio de un circuito de un portador de calor.

10 Los crecientes problemas ambientales en todo el mundo, la demanda de energía cada vez mayor y la escasez de recursos requieren nuevas tecnologías de instalaciones de centrales eléctricas con las que, por un lado, se amplíe continuamente la proporción de energías renovables y, por otro lado, se asegure un suministro continuo. Las nuevas tecnologías comprenden, entre otras, instalaciones de centrales eléctricas híbridas cuyo funcionamiento se basa en diferentes portadores de energía combinables e intercambiables unos con otros.

15 Entre las centrales eléctricas convencionales se cuentan centrales de vapor, centrales eléctricas de turbina de gas y centrales combinadas de gas y vapor, en las que se combinan los principios de una central de turbina de gas y una central de vapor. Éstas se utilizan para la generación convencional de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles. En la central de vapor, en la que los combustibles fósiles sirven para evaporar agua, se convierte la energía térmica del vapor de agua en energía eléctrica por medio de una turbina de vapor que a su vez acciona un generador.

20 En una central de turbina de gas se hace funcionar una turbina de gas con combustible líquido o gaseoso basado en hidrocarburos, como, por ejemplo, gas natural. La turbina de gas acciona a su vez también un generador para generar corriente eléctrica. Los gases de escape de la turbina presentan una elevada temperatura y, por tanto, pueden emplearse para el calentamiento adicional de una caldera de calor perdido en la central combinada de gas-vapor. Por tanto, en la central combinada de gas-vapor la turbina de gas, aparte de servir para la generación directa de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles, sirve también como fuente de calor para la caldera de calor perdido pospuesta que actúa como generador de vapor para la turbina de vapor. El vapor se expande seguidamente por medio de un proceso de turbina de vapor convencional.

25 Aparte de la utilización del calor del gas de escape de la turbina de gas, la potencia del vapor y, por tanto, la potencia eléctrica de la turbina de vapor pueden aumentarse mediante un calentamiento adicional de la caldera de vapor. Otra posibilidad, en lugar del calentamiento adicional, está representada por la generación de vapor termosolar. Esta clase de generación de vapor, a base de la utilización de energía solar, es posible en la combinación indicada con una central combinada de gas-vapor, una central de vapor fósil con acoplamiento de energía solar o como una central de calor solar autárquica. En la central de calor del sol o central de calor solar se acopla con el proceso de la central la energía de radiación del sol a través de un receptor, denominado también absorbedor o colector, y se emplea así esta energía como fuente de energía primaria. La energía de radiación del sol se aprovecha para la obtención de energía por concentración de la radiación solar con reflectores sobre el receptor solar. Los reflectores presentan superficies que concentran la luz solar incidente. El receptor o los reflectores se reajustan generalmente siguiendo al sol. En centrales de torre solar y centrales de canal parabólico, como realizaciones especiales de centrales de calor solar, se concentra la radiación del sol con reflectores.

30 Las centrales de torre solar consisten generalmente en centrales de vapor con generación de vapor solar. El generador de vapor calentado en la central de vapor convencional con combustibles fósiles, como petróleo, gas o carbón, es sustituido en una torre por una unidad de generación de vapor solar, o sea, el receptor o el absorbedor. Cuando brilla el sol, se alinean unos espejos de posicionamiento automático, los llamados helióstatos, de modo que la luz solar sea reflejada hacia el receptor central. La energía de radiación se transfiere allí en forma de calor a un medio portador de calor, como aire, sal líquida o el medio agua/vapor del proceso. El portador de calor calentado se aprovecha entonces, por ejemplo, para generar vapor en una central de turbina de vapor y para generar seguidamente energía eléctrica por medio de un generador acoplado a una turbina.

35 El desarrollo de las centrales de canal parabólico, que se utilizan ya tanto en centrales predominantemente regenerativas como en las llamadas centrales ISCC (Integrated Solar Combined Cycle), es el que más ha progresado con respecto a centrales de calor solar. Las centrales de canal parabólico tienen, debido al nivel de temperatura relativamente pequeño, la ventaja de poder realizar una sencilla acumulación de calor para asegurar el proceso a lo largo de varias horas. Sin embargo, por otro lado, las limitadas temperaturas superiores del proceso son desventajosas para el rendimiento y los costes.

40 En el estado de la técnica se conocen instalaciones solares en combinación con procesos de circuito de vapor.

45 En el documento DE 196 27 425 A1 se divulga una instalación combinada de tipo híbrido-solar constituida por un turbogrupo de gas, un turbogrupo de vapor, un generador de vapor por calor perdido y un generador de vapor solar.

La instalación está diseñada para funcionamiento combinado híbrido-solar, funcionamiento solar puro y funcionamiento combinado. En el funcionamiento combinado híbrido-solar el generador de vapor solar, además del generador por calor perdido, sirve como generador de vapor adicional. En el funcionamiento solar puro y en el funcionamiento combinado se proporciona el vapor en el generador de vapor solar o en el generador de vapor por calor perdido. El vapor generado se emplea siempre para el funcionamiento de la turbina de vapor. El calor solarmente generador se acopla exclusivamente con el proceso de vapor.

Una realización semejante de una instalación solar con turbina de gas y vapor se desprende del documento US 5,444,972 A. El calor solar acoplado con un circuito de un medio portador de calor a través de un receptor solar, además del calor del gas de escape de la turbina de gas, está disponible adicionalmente para la generación de vapor en la caldera de vapor perdido. En esta instalación se aprovecha también el calor solar solamente en el proceso de vapor.

El documento WO 96/31697 A1 divulga también un sistema con un circuito de portador de calor para la integración de energía solar en una central térmica convencional para generar energía eléctrica por medio de una turbina de vapor y una turbina de gas. La energía solar recogida por un receptor se emplea entonces para acondicionar el vapor de la instalación de turbina de vapor. Se genera el vapor dentro de un generador de vapor solar que, dispuesto dentro del circuito del portador de calor, está acoplado con una parte del circuito del agua de alimentación de la instalación de turbina de vapor.

De los documentos DE 41 26 036 A1, DE 41 26 037 A1 y DE 41 26 038 A1 se desprenden también centrales de turbina de gas y vapor con instalaciones adicionales para la generación de vapor solar que están conectadas siempre al suministro de agua de alimentación de la central de turbina de vapor. La instalación para la generación de vapor según el documento DE 41 26 036 A1 desemboca en la tubería de vapor a alta presión que conduce del generador de calor por calor perdido a la turbina de vapor, con lo que el valor generado en las superficies de calentamiento del recalentador a alta presión del generador de vapor por calor perdido se mezcla con el del generador de vapor solar y se conduce a la turbina de vapor.

Tanto en la central divulgada en el documento DE 41 26 037 A1 como en la central divulgada en el documento DE 41 26 038 A1 la instalación de generación de vapor solar está conectada directamente a las superficies de calentamiento del recalentador a alta presión del generador de vapor por calor perdido. Además, la central que se desprende del documento DE 41 26 037 A1 presenta una turbina de vapor a alta presión, una turbina de vapor a media presión y una turbina de vapor a baja presión. La generador de vapor solar está vinculada aquí adicionalmente al sistema de vapor a media presión del proceso de la turbina de vapor. En las centrales de turbina de gas y vapor citadas solo se alimenta el calor solarmente generado al proceso de la turbina de vapor.

En el documento DE 20 2008 002 599 U1 se divulga una central híbrida termosolar con un circuito de medio un portador de calor calentado por energía térmica solar y un circuito de vapor/agua de una etapa de turbina acoplado térmicamente con el circuito anterior a través de una etapa de generación de vapor. En el circuito de vapor/agua está dispuesta una recalentador pospuesto al recalentador termosolar y desacoplado del circuito del portador de calor. El circuito del portador de calor está cerrado. Como medio portador de calor se emplea termoaceite o agua, cuyo calor se transfiere en transmisores de calor al proceso de la turbina de vapor propiamente dicho. Esta central, con calor termosolar alimentado, consiste en una central de vapor pura.

Además, se conoce en el estado de la técnica una instalación de turbina de gas con calor solar acoplado con el proceso. Esta instalación de turbina de gas híbrida solar consiste en una instalación de ensayo con un grupo propulsor de helicóptero modificado que se encuentra en la torre solar y en el que se calienta solarmente el aire de combustión entre una salida de compresor y una entrada de cámara de combustión. La turbina de gas está dispuesta en la torre cerca de los receptores y resulta así problemática para instalaciones grandes.

Se desprende del documento US 5,417,052 A una central de turbina de gas y vapor en combinación con el acoplamiento de calor solar con la instalación de turbina de gas. La energía de radiación del sol transformada en energía térmica por medio de un receptor solar se transporta con un medio portador de calor desde el receptor hasta un transmisor de calor que está previsto para calentar el aire de combustión comprimido. El aire calentado con energía solar se alimenta seguidamente a la cámara de combustión. El calor solarmente generado se acopla así exclusivamente con el proceso de gas.

En el estado de la técnica se conocen ciertamente centrales termosolares en combinación con instalaciones de turbina de vapor o en combinación con instalaciones de turbina de gas, pero éstas presentan diversos inconvenientes. Así, hasta ahora solamente con limitaciones se pueden alcanzar altas temperaturas del proceso y, por tanto, altas proporciones solares de la aportación de calor en cooperación con las diferentes energías primarias. La alta temperatura deseada del proceso se opone, además, a la posibilidad de una acumulación de calor, con lo que en tiempos de pequeña radiación solar se tiene que efectuar un calentamiento adicional, generalmente con combustibles fósiles. Por otro lado, unas bajas temperatura del proceso originan un pequeño rendimiento. A altas

temperaturas del proceso se puede materializar a su vez solamente una pequeña proporción solar de la aportación de calor en la central híbrida. Por los motivos citados, se establece hasta ahora desventajosamente un compromiso entre alta temperatura del proceso, proporción solar de la aportación de calor y seguridad de suministro o calidad del suministro de energía eléctrica.

- 5 Además, la utilización de instalaciones de turbina de gas con calor solar acoplado con el proceso sigue estando limitada a instalaciones pequeñas en tanto la turbina de gas tenga que posicionarse en las inmediaciones de los receptores.

10 El problema de la presente invención consiste en proporcionar una instalación y un procedimiento que posibiliten el transporte de calor y el acoplamiento de calor solar con el proceso de una central de gas y vapor, estando espacialmente separados uno de otro los lugares de absorción de calor solar y de acoplamiento de este calor con el proceso. Se tiene que suministrar una proporción elevada del calor necesario para el proceso a partir de energía solar a fin de reducir el consumo de portadores de energía fósiles.

15 El problema se resuelve según la invención mediante una central eléctrica de gas y vapor operada en forma híbrida solar que presenta una instalación solar con un receptor, una instalación de turbina de gas con un compresor, una cámara de combustión y una turbina de gas con una caldera de calor perdido pospuesta, y una instalación de turbina de vapor con una turbina de vapor y un precalentador de agua de alimentación. La instalación de turbina de gas y la instalación de turbina de vapor están acopladas una con otra a través de la caldera de calor perdido y el precalentador de agua y de alimentación dispuesto en la misma. La turbina de gas se hace funcionar con combustible líquido o gaseoso basado en hidrocarburos. En la turbina de gas se expandiona vapor de agua. Aparte 20 del precalentador de agua de alimentación, pueden estar previstos adicionalmente en la caldera de calor perdido un economizador, un evaporador, un recalentador y otros transmisores de calor para producir un desacoplamiento del calor.

25 Según la concepción de la invención, se transmite al proceso de la central calor solarmente generado con un circuito de portador de calor adicionalmente integrado, estando acoplado el circuito del portador de calor a través de un transmisor de calor de la turbina de gas con la instalación de turbina de gas y a través de una caldera solar con la instalación de turbina de vapor. El transmisor de calor de la turbina de gas dentro de la instalación de turbina de gas está dispuesto entre un compresor y una cámara de combustión y dentro del circuito del portador de calor está dispuesto después del receptor, considerado en la dirección de flujo.

30 Según una ejecución alternativa de la invención, la central de gas y vapor operada en forma híbrida solar presenta una instalación solar con un receptor y una turbina de gas-vapor integrada con una caldera de calor perdido pospuesta en lugar de la instalación de turbina de gas con turbina de gas y la instalación de turbina de vapor con turbina de vapor. Con el circuito del portador de calor adicionalmente integrado se transmite calor solarmente generado, estando acoplado el circuito del portador de calor con la turbina de gas-vapor integrada a través del transmisor de calor de la turbina de gas y a través de la caldera solar.

35 Con una turbina de gas-vapor integrada se hace funcionar el proceso de turbina de gas como proceso de gas-vapor integrado. En este caso, se añade vapor recalentado al gas del proceso de la turbina de gas antes de la entrada en la turbina de gas-vapor integrada o bien se satura el aire del compresor con vapor de agua.

40 El transmisor de calor de la turbina de gas, como unión térmica entre el circuito del portador de calor y la instalación de turbina de gas, está dispuesto preferiblemente entre el compresor y la cámara de combustión de la instalación de turbina de gas y, considerado en la dirección de flujo, directamente después del receptor del circuito del portador de calor.

45 Las turbinas accionan según la invención al menos un generador, pudiendo estar configuradas las turbinas como una instalación monoeje en combinación con un generador y como instalaciones multieje en combinación con varios generadores. En instalaciones monoeje se pueden utilizar preferiblemente embragues adecuados que hagan posible el funcionamiento separado y el arranque y parada separados de las turbinas. Las instalaciones monoeje están, además, ligadas a pequeñas costes de inversión debido a la utilización de un solo generador.

La caldera de calor perdido de la instalación de turbina de gas y la caldera solar del circuito del portador de calor pueden integrarse ventajosamente en la instalación de turbina de vapor tanto en conexión en serie como en conexión en paralelo entre ellas.

50 Según una ejecución preferida de la invención, circula un medio portador de calor dentro del circuito de portador de calor, que es de construcción cerrada. Como medio portador de calor se pueden emplear según la invención gases, como aire, dióxido de carbono, helio o nitrógeno. Es ventajoso que el medio portador de calor gaseoso sea solicitado con presión, es decir que la presión en el circuito del portador de calor sea superior a la presión ambiente. Además, se puede regular el nivel de presión entre 1 y 20 bares por medio de un sistema de regulación de presión. Cuanto

más alta sea la presión tanto mayores serán la capacidad térmica volumétrica y la densidad de los gases. Por tanto, el funcionamiento a altas presiones tiene la ventaja de la utilización de tuberías de transporte con diámetro claramente más pequeño que, por ejemplo, en el caso de funcionamiento a presión ambiente.

5 Las instalaciones conocidas se hacen funcionar, por ejemplo, con sal fundida de alta capacidad calorífica. Sin embargo, la sal puede, por un lado, actuar desventajosamente como corrosiva y, por otro lado, existe el riesgo de solidificación en las tuberías de transporte. Estas desventajas no se presentan si se emplea un medio portador de calor gaseoso.

El circuito del portador de calor presenta según la invención al menos un soplante de circulación que puede disponerse en diferentes posiciones dentro del circuito.

10 El receptor del circuito del portador de calor está configurado preferiblemente como un receptor de torre en el que se transmite la energía solar al medio portador de calor. Es así posible integrar el calor en el proceso convencional de la central de gas y vapor a las temperaturas ventajosamente elevadas que pueden alcanzarse con las centrales de torre.

15 Según una ejecución de la invención, el circuito del portador de calor en la sección de alta temperatura entre el receptor de torre y el transmisor de calor de la turbina de gas presenta, además, acumuladores de calor por breve tiempo para compensar variaciones de corta duración de la irradiación solar. Como consecuencia de los gradientes de temperatura fuertemente reducidos, la utilización de los acumuladores de calor por breve tiempo puede influir positivamente, por ejemplo, sobre el comportamiento de regulación de la turbina de gas y la vida útil de los componentes de la instalación.

20 Preferiblemente, dentro del circuito del portador de calor está integrado, además, un acumulador de calor a alta temperatura con un soplante de circulación adicional. En el acumulador de calor a alta temperatura se puede acumular ventajosamente el calor recibido del medio portador de calor en el receptor de torre.

25 Con la energía de los acumuladores de calor se pueden regular fluctuaciones del calor absorbido de la energía solar para efectuar compensaciones en la instalación completa, ya que se compensa por medio del calor acumulado la proporción que falta de calor transformado a partir de energía solar. Por lo demás, la cantidad mínima de calor puede sustituirse también por la aportación de combustible al proceso de la turbina de gas.

30 El circuito del portador de calor es influenciado de la manera usual por medio de válvulas y derivaciones de una manera dependiente del funcionamiento. Según una ejecución preferida de la invención, el circuito del portador de calor presenta una derivación alrededor del transmisor de calor de la turbina de gas, con lo que se regula especialmente la temperatura del medio portador de calor después del transmisor de calor de la turbina de gas, visto en la dirección de flujo. Según el caudal mísico del medio transmisor de calor y el grado de concentración del transmisor de calor de la turbina de gas, la temperatura del medio transmisor de calor es, a pesar de la cesión de calor, más alta que la temperatura de salida del compresor de la turbina de gas. La derivación alrededor del transmisor de calor de la turbina de gas puede, por un lado, calentar nuevamente el caudal mísico enfriado del medio transmisor de calor o, por otro lado, utilizarse también por separado, por ejemplo para recalentar vapor de agua. La alta temperatura de entrada del medio transmisor de calor en la caldera solar, que ventajosamente es superior a 500°C, puede servir ahora para la generación de vapor en la caldera de solar dispuesta seguidamente en la dirección de flujo. La caldera solar está configurada aquí como una caldera completa con un transmisor de calor que es recorrido por el medio transmisor de calor dentro del circuito del portador de calor y en el que se transmite calor del medio transmisor de calor al circuito de vapor de agua o al proceso de vapor.

40 Para lograr un funcionamiento constante del proceso de la turbina de gas, es decir, para mantener una temperatura de entrada constante y un caudal mísico constante del medio transmisor de calor en la caldera solar, se puede transmitir calor, según la irradiación solar, al proceso de la turbina de gas a través del transmisor de calor de dicha turbina de gas. La irradiación solar modificada es compensada mediante la aportación de combustible en el proceso de la turbina de gas.

45 En la central de gas y vapor operada en forma híbrida solar según la invención se tiene que, conforme a una ejecución preferida, tanto en la caldera de calor perdido como en la caldera solar están dispuestos sendos economizadores en los que se precalienta el agua de alimentación del proceso de la turbina de gas.

50 Según una ejecución alternativa de la invención, solamente en la caldera de calor perdido está dispuesto un economizador en el que se precalienta el agua de alimentación del proceso de vapor y a continuación se distribuye dicha agua sobre el evaporador en la caldera de vapor y en la caldera de calor perdido. Ventajosamente, se puede variar sin escalones la distribución de todo el caudal mísico del agua de alimentación entre la tubería que va al evaporador en la caldera solar y al evaporador en la caldera de calor perdido. Mientras que el caudal mísico que va a la caldera de calor perdido se mantiene aproximadamente constante, el caudal mísico que va a la caldera solar

puede ir desde cero hasta un múltiplo del caudal másico que va a la caldera de calor perdido. La variación del caudal másico total se efectúa por medio de la bomba de alimentación de la caldera.

Según una ejecución preferida de la invención, el proceso de la turbina de vapor presenta, además, un recalentador intermedio que puede integrarse tanto dentro de la caldera solar o del circuito del portador de calor como dentro de

5 la caldera de calor perdido. El recalentador intermedio puede conectarse, según la concepción de la invención, en serie o en paralelo con el recalentador. En el recalentamiento intermedio se aporta ventajosamente calor adicional al vapor de la turbina de gas ya expansionado en parte, por ejemplo en el recalentador intermedio del circuito del transmisor de calor. El recalentamiento intermedio produce un claro aumento del trabajo del proceso cíclico o de la generación de energía eléctrica e igualmente una reducción del consumo específico de calor del combustible. En relación con la caldera solar, esto conduce, además, a un neto aumento de la proporción de calor solar en la generación de corriente eléctrica.

El procedimiento según la invención para el funcionamiento de una central eléctrica de gas y vapor operada en forma híbrida solar conforme a la invención, dotada de un proceso de turbina de gas y vapor, se caracteriza por que se incorpora calor solar tanto en el proceso de turbina de gas como en el proceso de turbina de vapor por medio de un circuito de portador de calor con un transmisor de calor de turbina de gas y una caldera solar.

15 Como proceso de turbina de gas y vapor se puede entender también un proceso combinado de turbina de gas y vapor, tal como el que se utiliza en una central eléctrica combinada de gas-vapor, o un proceso de gas-vapor integrado con turbina de gas-vapor integrada.

20 Según la concepción de la invención, en el proceso de turbina de gas se hace funcionar una turbina de gas y en el proceso de turbina de vapor se hace funcionar una turbina de vapor, accionando las turbinas al menos un generador.

25 Según una ejecución alternativa de la invención, se hace funcionar el proceso de turbina de gas como un proceso de gas-vapor integrado, por ejemplo como un proceso STIG (steam injected gas turbine), un proceso HAT (humid air turbine) o un proceso EVGT (evaporative gas turbine), con una turbina de gas de evaporación. El vapor generado y recalentado en la caldera solar o en la caldera de calor perdido se mezcla ventajosamente con el gas en la dirección de flujo entre el compresor y el transmisor de calor de la turbina de gas, entre el transmisor de calor de la turbina de gas y la cámara de combustión o después de la cámara de combustión. Esta ejecución alternativa de la invención se prefiere sobre todo para la utilización de instalaciones en el dominio de potencia pequeño y medio debido a sus reducidos costes de inversión. Dado que la cantidad de vapor que puede generarse en la caldera de calor perdido es limitada, es ventajoso también en conexiones de gas-vapor integradas que se aumente la generación de vapor por calor solar.

30 35 Otra ventaja de la utilización conjunta del precalentador de agua y de alimentación y del economizador está representada por la baja temperatura del gas de escape. Dado que el agua contenida en el gas de escape es un costoso desionizado y, por tanto, éste no debe escapar del proceso con el gas de escape, la baja temperatura del gas de escape ahorra una gran proporción del coste de refrigeración necesario para la condensación del desionizado.

40 El medio portador de calor gaseoso circula dentro de un circuito de portador de calor cerrado y ventajosamente bajo una sobrepresión impartida, regulándose desde fuera por un sistema de regulación de presión el nivel de presión del medio portador de calor gaseoso, que está preferiblemente entre 1 y 20 bares.

45 50 Según la invención, se regula ventajosamente entre 500°C y 600°C, por medio del caudal másico a través de la derivación dispuesta en el circuito del portador de calor alrededor del transmisor de calor de la turbina de gas, la temperatura del medio portador de calor en la dirección de flujo después del transmisor de calor de la turbina de gas y antes de la caldera solar.

Según una ejecución alternativa de la invención, en la que únicamente se dispone un economizador en la caldera de calor perdido y el agua de alimentación del proceso de vapor precalentada en este economizador se distribuye sobre el evaporador en la caldera solar y el evaporador en la caldera de calor perdido, se regula ventajosamente sin escalones la distribución del caudal másico del agua de alimentación entre los evaporadores.

Según otras ejecuciones de la invención, se puede disponer en el circuito del portador de calor después del economizador de la caldera solar, considerado en la dirección de flujo del medio portador de calor, un proceso adicional generador de energía eléctrica o el transmisor de calor correspondiente. Este proceso integrado generador de energía eléctrica puede operarse ventajosamente, por ejemplo, según el principio de los Organic Rankine Cycles (ORC). Las instalaciones ORC son centrales de vapor que, para aprovechar el calor residual derivado de procesos a baja temperatura, se operan con medios de trabajo orgánicos en lugar de agua.

Aparte del proceso adicionalmente integrado generador de energía eléctrica, el transmisor de calor de una instalación frigorífica por absorción, una instalación de generación de vapor de proceso o una instalación de suministro de calor se puede disponer también según la invención en el circuito del portador de calor.

5 Según una ejecución preferida de la invención, se regula el nivel de presión en la caldera de calor perdido por el modo de funcionamiento a presión flotante, usual en el funcionamiento de una central eléctrica, en función del calor solar.

10 El proceso de vapor puede ejecutarse ventajosamente como un proceso multipresión, pudiendo configurarse la caldera solar y la caldera de calor perdido como calderas multipresión. Las diferentes etapas de presión para un proceso de 3 presiones están usualmente entre 130 y 140 bares en la primera etapa, entre 50 y 60 bares en la 15 segunda etapa de presión y a aproximadamente 10 bares en la tercera etapa de presión. El procedimiento según la invención para el funcionamiento de una central eléctrica de gas y vapor operada en forma híbrida solar como sistema multipresión hace posible también que se solicite solamente la caldera solar con alta presión, mientras que la caldera de calor perdido se opera a una etapa de presión más baja o a varias etapas de presión.

20 Resumiendo, se puede consignar que la central eléctrica de gas y vapor según la invención, operada en forma híbrida solar, y el procedimiento de funcionamiento de la central eléctrica presentan ventajas esenciales frente al estado de la técnica. La invención hace posible una clara elevación de la proporción de calor convertida a partir de energía solar y un ventajoso ahorro inherente de combustible fósil frente a instalaciones y procedimientos conocidos hasta ahora. Es posible una regulación muy efectiva y respetuosa con los resortes de la variable oferta de calor solar mediante diferentes acumuladores de calor y la aportación variable de combustible a la cámara de combustión de la instalación de turbina de gas. Se garantiza así también la plena disponibilidad de la central eléctrica durante largos periodos de tiempo y, en contraste con las centrales eléctricas pertenecientes al estado de la técnica, se puede conseguir un mayor rendimiento anual sobre la base del aprovechamiento de la energía solar.

25 Con altas temperaturas del fluido de trabajo a la entrada de la turbina, especialmente de la turbina de gas, y altas temperaturas de salida inherentes del medio portador de calor proveniente del receptor de radiación solar que se alcanzan con el receptor de torre, se puede lograr un alto rendimiento de la instalación.

30 El medio portador de calor gaseoso conducido en su circuito cerrado no se solidificará durante el tiempo de paro de la instalación y no dificultará el flujo del mismo debido a sedimentaciones dentro de los tubos. Mediante la ejecución cerrada del circuito se minimiza también un ensuciamiento.

35 La concepción de la invención hace posible, en base a la transmisión de calor por medio del circuito del portador de calor, la colocación preferida próxima al suelo de los componentes de la central eléctrica, especialmente las instalaciones de turbina.

40 Además, el diseño de los componentes del circuito solar o del circuito del portador de calor es posible ventajosamente de una manera tal que se puedan integrar sencillamente en el proceso de la central eléctrica tanto la tecnología actual como las máquinas e instalaciones futuras, ya que el circuito del portador de calor es independiente del proceso restante de la central eléctrica.

45 Otros detalles, características y ventajas de la invención se describen de la descripción siguiente con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se representan esquemas de conexiones simplificados de la central eléctrica operada en forma híbrida solar con un circuito de portador de calor solar primario. Muestran:

50 La figura 1, una central eléctrica de gas y vapor con un respectivo economizador en la caldera solar y en la caldera de calor perdido,

La figura 2, una central eléctrica de gas y vapor con economizador exclusivamente en la caldera de calor perdido,

La figura 3, una central eléctrica de gas y vapor con un respectivo economizador en la caldera solar y en la caldera de calor perdido, así como con recalentamiento intermedio del vapor en el proceso de fuerza de vapor desarrollado en la caldera solar,

La figura 4, una central eléctrica de gas y vapor con economizador exclusivamente en la caldera de calor perdido y con recalentamiento intermedio del vapor en el proceso de fuerza de vapor desarrollado en la caldera solar,

La figura 5, una central eléctrica de gas-vapor integrada con un respectivo economizador en la caldera solar y en la caldera de calor perdido, y

La figura 6, una central eléctrica de gas-vapor integrada con economizador exclusivamente en la caldera de calor perdido.

En la figura 1 se representa el esquema de conexiones simplificado de la central eléctrica de gas y vapor 1 operada en forma híbrida solar con un circuito de portador de calor solar primario 2 dotado de sendos economizadores 11, 16 en la caldera solar 8 y en la caldera de calor perdido 14, en los cuales se precalienta el agua de alimentación de la instalación de turbina de vapor. La central eléctrica está constituida sustancialmente por una instalación de turbina

5 de gas con compresor 5, cámara de combustión 6 y turbina de gas 7 con caldera de calor perdido pospuesta 14, que representa también un componente de la instalación de turbina de vapor. El gas de escape caliente de la turbina de gas 7 se aprovecha en la caldera de calor perdido 14 para generar vapor recalentado. En paralelo con esto, se puede habilitar también el vapor en la caldera solar 8. En el recalentador 10, 18 se alimenta más calor al agua evaporada en el evaporador 9, 17 a la temperatura de saturación. Gracias al calentamiento adicional del vapor 10 aumentan la temperatura y el volumen específico del vapor, con lo que éste se recalienta. El vapor circula desde la caldera solar 8 y desde la caldera de calor perdido 14 a través de tuberías hasta la turbina de gas 13 en la que 15 disminuye la cantidad de fluido del vapor debido a la entrega de trabajo técnico. Los caudales básicos de vapor provenientes de la caldera solar 8 y la caldera de calor perdido 14 se mezclan antes de la entrada en la turbina de vapor 13. Al igual que la turbina de gas 7, la turbina de vapor 13 está acoplada con un generador 19 que transforma 20 la potencia mecánica en potencia eléctrica. Seguidamente, el vapor expansionado y enfriado entra en el condensador 20 de la turbina de vapor, en el que se condensa por transmisión de calor al ambiente. El agua condensada se conduce a través de la bomba de condensado 28 y seguidamente a través del precalentador 15 de agua de alimentación en la caldera de calor perdido 14 de la turbina de gas 7 y con ello se precalienta. Además, se reduce la temperatura del gas de escape de la turbina de gas. Se aumenta así ventajosamente el rendimiento de la instalación. El agua de alimentación calentada se almacena transitoriamente en el recipiente 22 de agua de alimentación. A continuación, se alimenta nuevamente el agua por medio de bombas de alimentación 21, 29 a la caldera solar 8 y a la caldera de calor perdido 14.

El calor solar transmitido al circuito cerrado 2 del portador de calor se transmite según la invención al proceso de la turbina de gas a través del transmisor de calor 4 de dicha turbina de gas y se transmite también al proceso de la turbina de vapor a través del evaporador 9 y el recalentador 10 de la caldera solar 8. El medio portador de calor gaseoso, tal como aire, dióxido de carbono, helio o nitrógeno, circula según la concepción de la invención bajo una sobrepresión que se imparte desde fuera con ayuda de un sistema de mantenimiento de presión. El soplante de circulación 12 provoca una primera diferencia de presión y, por tanto, el flujo del medio portador de calor.

En caso necesario y con una conexión correspondiente del circuito 2 del portador de calor, se pueden posicionar otros soplantes de ventilación y válvulas para fines de bloqueo o regulación en otras posiciones del circuito 2 del portador de calor. El soplante de circulación 12 está dispuesto de manera conveniente en el punto más frío del circuito 2 del portador de calor debido al consumo de energía específicamente muy pequeño y a las temperaturas respetuosas con el material.

Según una ejecución ventajosa de la invención, la energía solar se transmite como calor al medio portador de calor dentro de un receptor, especialmente el receptor de torre 3. Una parte del calor absorbido del medio portador de calor en el receptor de torre 3 se transmite a la instalación de turbina de gas en el transmisor de calor 4 de dicha turbina de gas que está dispuesto entre el compresor 5 y la cámara de combustión 6 de la instalación de turbina de gas y después del receptor de torre 3 del circuito 2 del portador de calor, considerado en la dirección de flujo. El medio portador de calor circula entonces por la válvula 26, estando cerradas las válvulas 25 y 27. El aire de combustión comprimido por el compresor 5 es calentado ventajosamente en el transmisor de calor 4 de la turbina de gas y es aportado a la cámara de combustión 6 en estado calentado. De esta manera, se reduce el consumo específico de calor de combustible en el proceso de la turbina de gas.

Estando cerrada la válvula 26, el medio portador de calor caliente circula según la concepción de la invención a través de las válvulas 25 y 27 para llegar directamente a la caldera solar 8. Es ventajoso que la temperatura del medio portador de calor pueda regularse después del transmisor de calor 4 de la turbina de gas, considerado en la dirección de flujo, con ayuda de la derivación y, por tanto, de las proporciones del caudal básico a través de la válvula 26 o las válvulas 25 y 27.

Mientras que el transmisor de calor 4 de la turbina de gas establece la unión entre el circuito 2 del portador de calor y la instalación de turbina de gas, la caldera solar 8 con el evaporador 9 y el recalentador 10 integrados une el circuito 2 del portador de calor con la instalación de turbina de gas. Según la concepción de la invención, en el recalentador 10 se transmite calor del medio portador de calor caliente al vapor, el cual es así ventajosamente recalentado. Se enfriá entonces el medio transmisor de calor. En el recorrido de flujo restante se transmite el calor del medio transmisor de calor al vapor dentro del evaporador 9 y del economizador 11.

Para regular mejor las temperaturas en el circuito 2 del portador de calor se puede alimentar el calor solar absorbido del medio portador de calor en el receptor de torre 3 dentro del acumulador de calor 23 a alta temperatura. Con la energía acumulada se compensan ventajosamente por regulación las fluctuaciones del calor transmitido desde la energía solar. La energía acumulada puede aportarse, en caso necesario, cuando el medio portador de calor circule

a través del acumulador de calor 23 a alta temperatura y las válvulas 25 o 27. Al mismo tiempo, se puede cerrar al menos en parte la válvula 24.

Según una ejecución alternativa de la invención, el calor puede almacenarse también dentro del circuito de vapor de agua de la instalación de turbina de vapor.

5 La figura 2 muestra el esquema de conexiones simplificado de la central eléctrica de gas y vapor 1 operada en forma híbrida solar con un circuito solar primario 2 de portador de calor, estando presente únicamente el economizador 16 para precalentar el agua de alimentación de la instalación de turbina de vapor. La diferencia frente al esquema de conexiones de la figura 1 consiste en que el agua de alimentación se precalienta únicamente en la caldera de calor perdido 14. Con un economizador común 16 en la caldera de calor perdido 14 se reduce adicionalmente la 10 temperatura del gas de escape de la instalación de turbina de gas y se aumenta así el rendimiento de la instalación.

Según la concepción de la invención, el agua de alimentación precalentada en el economizador 16 se puede distribuir sobre los evaporadores 9 en la caldera solar 8 y el evaporador 17 en la caldera de calor perdido 14, pudiendo regularse sin escalones la distribución entre la tubería de la corriente mísica total del agua de alimentación hacia el evaporador 9 en la caldera solar 8 y hacia el evaporador 17 en la caldera de calor perdido 14. Por tanto, se 15 pueden compensar ventajosamente los calores variables del gas de escape de la instalación de turbina de gas y del medio portador de calor.

En las figuras 3 y 4 se representa la central eléctrica de gas y vapor 1 según la invención, operada en forma híbrida solar, con un circuito solar primario 2 de portador de calor y con una ejecución ventajosa para efectuar un 20 recalentamiento intermedio del vapor en la caldera solar 8. El recalentamiento intermedio puede realizarse tanto con economizadores 11, 16 en la caldera de vapor 8 y en la caldera de calor perdido 14 según la figura 3 como con un economizador común 16 en la caldera de calor perdido 14 según la figura 4.

En el recalentador intermedio 30 se puede aportar adicionalmente calor del medio portador de calor del circuito 2 de dicho medio portador de calor al vapor ya parcialmente expansionado de la turbina de vapor 13. El recalentador intermedio 30, cuyas superficies de calentamiento están configuradas, por ejemplo, como superficies de calentamiento interdigitadas con las superficies de calentamiento del recalentador 10, están conectadas dentro del circuito 2 del transmisor de calor, según la invención, en paralelo con el recalentador 10. Sin embargo, el recalentador intermedio 30 y el recalentador 10 pueden estar conectados también en serie uno con otro.

Para lograr un modo de funcionamiento sin calor solar ni calor de acumulador y sin el correspondiente calentamiento 30 intermedio inherente, el vapor circula ventajosamente por una tubería de derivación de la turbina de vapor 13 (no representada en la figura).

El recalentamiento intermedio provoca un claro aumento del trabajo del proceso cíclico o de la producción de corriente eléctrica e igualmente una reducción del consumo de calor específico de combustible. En relación con la caldera solar, esto conduce, además, a un claro incremento de la proporción de calor solar en la generación de corriente eléctrica.

35 En las figuras 5 y 6 se muestra la central eléctrica de gas y vapor 1 según la invención, operada en forma híbrida solar, con un primer circuito solar primario 2 de portador de calor y con una ejecución preferida de la introducción de vapor o la aportación de vapor a la turbina de gas-vapor integrada 31. Los esquemas de conexiones de las figuras 5 y 6 se diferencian también en la disposición de los economizadores 11 y 16, tal como ya se ha descrito en relación con las figuras anteriores.

40 Según los esquemas de conexiones de las figuras 5 y 6, la instalación de turbina de gas original puede hacerse funcionar también como un proceso de gas-vapor integrado. Según la invención, el vapor generado y recalentado en la caldera solar 8 o en la caldera de calor perdido 14 se añade antes de la turbina. Se prescinde de una turbina de gas separada 13. Según las figuras 5 y 6, el mezclado de aire calentado y vapor calentado se efectúa, conforme a la concepción de la invención, entre el transmisor de calor 4 de la turbina de gas y la cámara de combustión 6. Otras 45 posibilidades de localización del mezclado existen entre el compresor 5 y el transmisor de calor 4 de la turbina de gas, así como después de la cámara de combustión 6.

50 El funcionamiento con un economizador común 16 en la caldera de calor perdido 14 según la figura 6 tiene otras ventajas decisivas. En el proceso de gas-vapor integrado se emplea en el circuito de vapor de agua, por ejemplo, un desionizado que origina costes muy altos durante la generación. El desionizado, sin equipos adicionales en el proceso de la central eléctrica, entra en la atmósfera junto con la corriente de gas de escape y es así sustraído desventajosamente al proceso de la central eléctrica. Solamente con la utilización de equipos de refrigeración adicionales del lado del gas de escape, como, por ejemplo, una instalación de condensación 32, se puede conseguir una condensación del desionizado a partir del gas de escape. Sin embargo, si existen las posibilidades según la invención para, por un lado, generar vapor adicional en la caldera solar 8 y, por otro lado, materializar el

funcionamiento con un economizador común 16 en la caldera de gas perdido 14, el gas de escape se enfriá ya más fuertemente en la caldera de calor perdido 14 que en las instalaciones convencionales. Por tanto, se reduce claramente el coste de la refrigeración adicional para la condensación del desionizado a partir del gas de escape.

5 Una ejecución preferida de la invención está representada por instalaciones con turbinas de gas energéticamente muy eficaces con una alta relación de compresión y bajas temperaturas del gas de escape. Con las bajas temperaturas del gas de escape no es posible o al menos se reduce fuertemente el recalentamiento del vapor en la caldera de calor perdido 14, ya que el nivel de temperatura del gas de escape es demasiado bajo. Según la concepción de la invención, la caldera de calor perdido 14 puede hacerse funcionar entonces únicamente con el economizador 16 y el evaporador 17, efectuándose el recalentamiento del vapor por completo o en parte en el recalentador 10 de la caldera solar 8.

10 Otra ejecución de la invención concierne a la generación solar de vapor en la caldera solar 8, la cual, según las figuras 1 a 6, puede conectarse en paralelo con la caldera de calor perdido 14. Sin embargo, la generación solar de calor puede estar también conectada alternativamente en serie con la caldera de calor perdido 14. Según el nivel de temperatura, el agua de la instalación de turbina de vapor se evaporaría en la caldera de calor perdido 14 y se recalentaría en la caldera solar 8.

15 Lista de símbolos de referencia

1	Central eléctrica de gas y vapor operada en forma híbrida solar
2	Círculo de portador de calor
3	Receptor/receptor de torre
20	4 Transmisor de calor de turbina de gas
5	Compresor
6	Cámara de combustión
7	Turbina de gas
8	Caldera solar
25	9 Evaporador
10	10 Recalentador
11	11 Economizador
12	12 Soplante de circulación
30	13 Turbina de vapor
14	14 Caldera de calor perdido
15	15 Precalentador de agua de alimentación
16	16 Economizador
17	17 Evaporador
18	18 Recalentador
35	19 Generador
20	20 Condensador de turbina de vapor
21	21 Bomba de alimentación de caldera
22	22 Recipiente de agua de alimentación
23	23 Acumulador de calor a alta temperatura
40	24, 25, 26, 27 Válvula
28	28 Bomba de condensado
29	29 Bomba de alimentación de caldera
30	30 Recalentador intermedio
31	31 Turbina de gas-vapor integrada
45	32 Instalación de condensación

REIVINDICACIONES

1. Central eléctrica de gas y vapor (1) operada en forma híbrida solar con una instalación solar, una instalación de turbina de gas y una instalación de turbina de vapor, en la que
 - la instalación solar presenta un receptor (3),
- 5 - la instalación de turbina de gas presenta una turbina de gas (7) con una caldera de calor perdido pospuesta (14) y
 - la instalación de turbina de vapor presenta una turbina de vapor (13) con un precalentador de agua de alimentación (15);

caracterizada por que está previsto un circuito (2) de portador de calor para transmitir calor solar, estando acoplado el circuito (2) del portador de calor con la instalación de turbina de gas a través de un transmisor de calor (4) de la turbina de gas y con la instalación de turbina de vapor a través de una caldera solar (8), y estando dispuesto el transmisor de calor (4) de la turbina de gas dentro de la instalación de turbina de gas entre un compresor (5) y una cámara de combustión (6) y dentro del circuito (2) del portador de calor después del receptor (3), considerado en la dirección de flujo.
- 10 2. Central eléctrica de gas y vapor (1) operada en forma híbrida solar con una instalación solar y una turbina de gas-vapor integrada (31), en la que
 - la instalación solar presenta un receptor (3) y
 - la turbina de gas-vapor integrada (31) presenta una caldera de calor perdido pospuesta (14),

caracterizada por que está previsto un circuito (2) de portador de calor para transmitir calor solar, estando acoplado el circuito (2) del portador de calor con la turbina de gas-vapor integrada (31) a través de un transmisor de calor (4) de la turbina de gas y a través de una caldera solar (8).
- 15 3. Central eléctrica de gas y vapor (1) operada en forma híbrida solar según la reivindicación 1 o 2, **caracterizada** por que el circuito (2) del portador de calor está configurado como un circuito cerrado y se emplean, como medio portador de calor, gases tales como aire, dióxido de carbono, helio o nitrógeno.
- 20 4. Central eléctrica de gas y vapor (1) operada en forma híbrida solar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada** por que el receptor (3) está configurado como un receptor de torre.
- 25 5. Central eléctrica de gas y vapor (1) operada en forma híbrida solar según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, **caracterizada** por que el transmisor de calor (4) de la turbina de gas está dispuesto dentro de la instalación de turbina de gas entre el compresor (5) y la cámara de combustión (6) y dentro del circuito (2) del portador de calor después del receptor (3), considerado en la dirección de flujo.
- 30 6. Central eléctrica de gas y vapor (1) operada en forma híbrida solar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada** por que el circuito (2) del portador de calor presenta una derivación alrededor del transmisor de calor (4) de la turbina de gas.
- 35 7. Central eléctrica de gas y vapor (1) operada en forma híbrida solar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada** por que está dispuesto un economizador (16) en la caldera de calor perdido (14).
- 40 8. Central eléctrica de gas y vapor (1) operada en forma híbrida solar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizada** por que está dispuesto un economizador (11) en la caldera solar (8).
- 45 9. Central eléctrica de gas y vapor (1) operada en forma híbrida solar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizada** por que la instalación de turbina de vapor presenta un recalentador intermedio (30).
10. Central eléctrica de gas y vapor (1) operada en forma híbrida solar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizada** por que el circuito (2) del portador de calor presenta un acumulador de calor (23) a alta temperatura.
11. Procedimiento de funcionamiento de una central eléctrica de gas y vapor (1) operada en forma híbrida solar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 con un proceso de turbina de gas y vapor, en el que se acopla calor solar tanto con el proceso de la turbina de gas como con el proceso de la turbina de vapor por medio de un circuito (2) de portador de calor con un transmisor de calor (4) de la turbina de gas y una caldera solar (8).

12. Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizado** por que el medio portador de calor gaseoso circula dentro del circuito cerrado (2) del portador de calor bajo una sobrepresión impartida y se regula el nivel de presión del medio portador de calor gaseoso.
- 5 13. Procedimiento según la reivindicación 11 o 12, **caracterizado** por que se regula la temperatura del medio portador de calor después del transmisor de calor (4) de la turbina de gas, considerado en la dirección de flujo, por medio de la derivación dispuesta en el circuito (2) del portador de calor alrededor del transmisor de calor (4) de la turbina de gas.
- 10 14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, **caracterizado** por que el agua de alimentación del proceso de vapor precalentada en el economizador (16) de la caldera de calor perdido (14) se distribuye sobre un evaporador (9) en la caldera solar (8) y un evaporador (17) en la caldera de calor perdido (14), regulándose sin escalones la distribución del caudal mísico del agua de alimentación entre los evaporadores (9, 17).
15. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, **caracterizado** por que se regula el nivel de presión en la caldera de calor perdido (14) en función del calor solar y según el principio de presión flotante.

Fig. 1

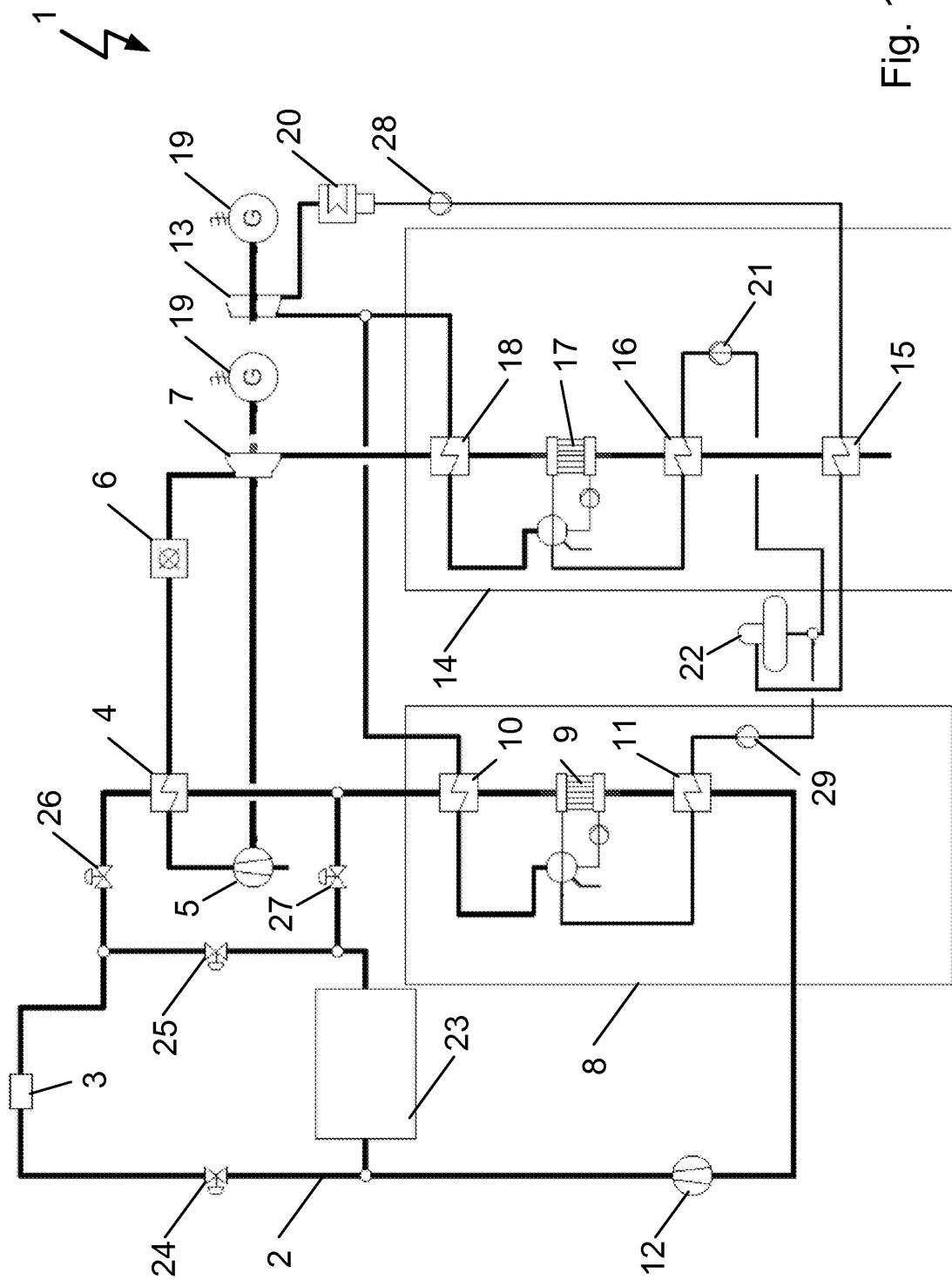


Fig. 2

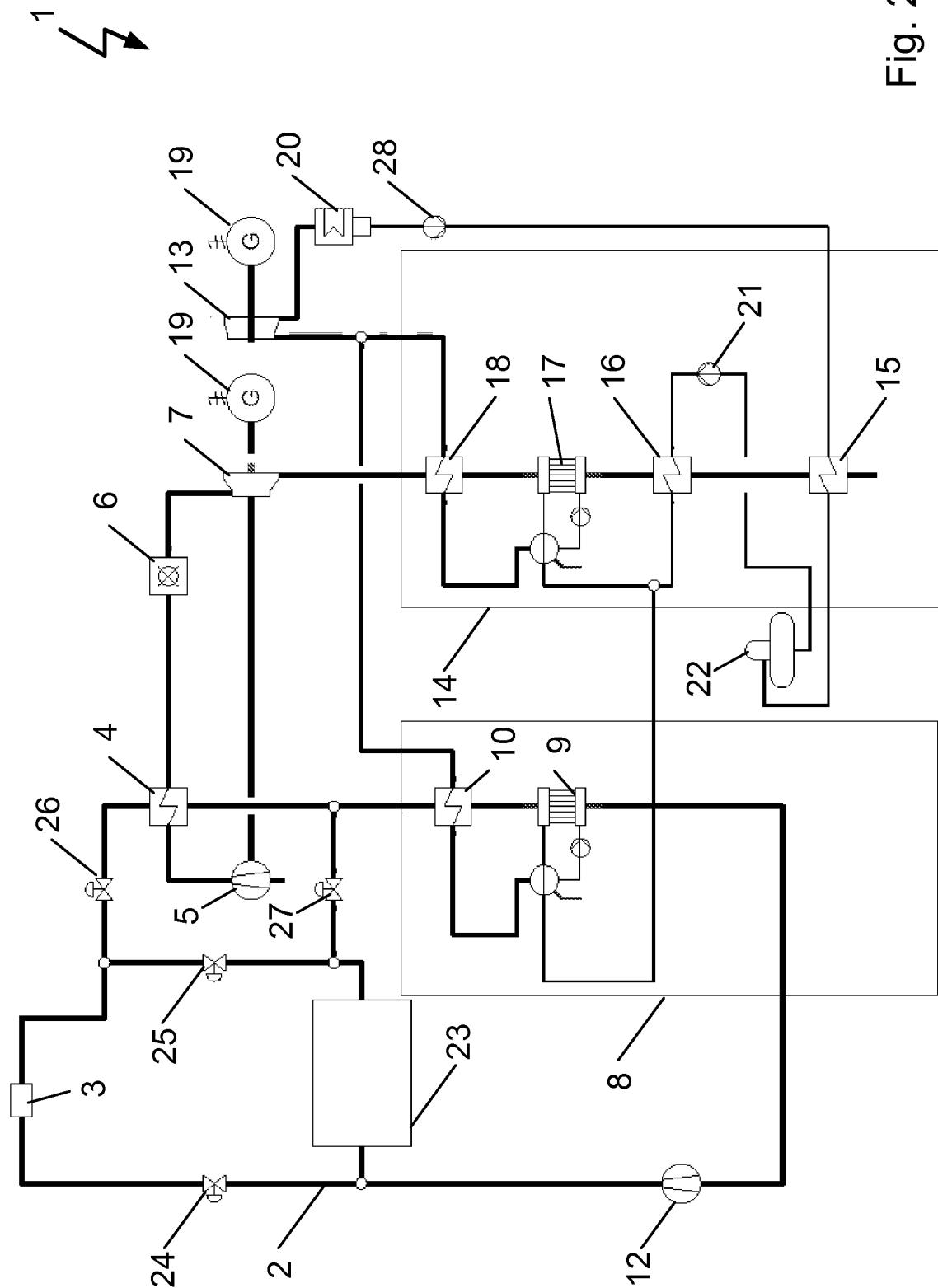


Fig. 3

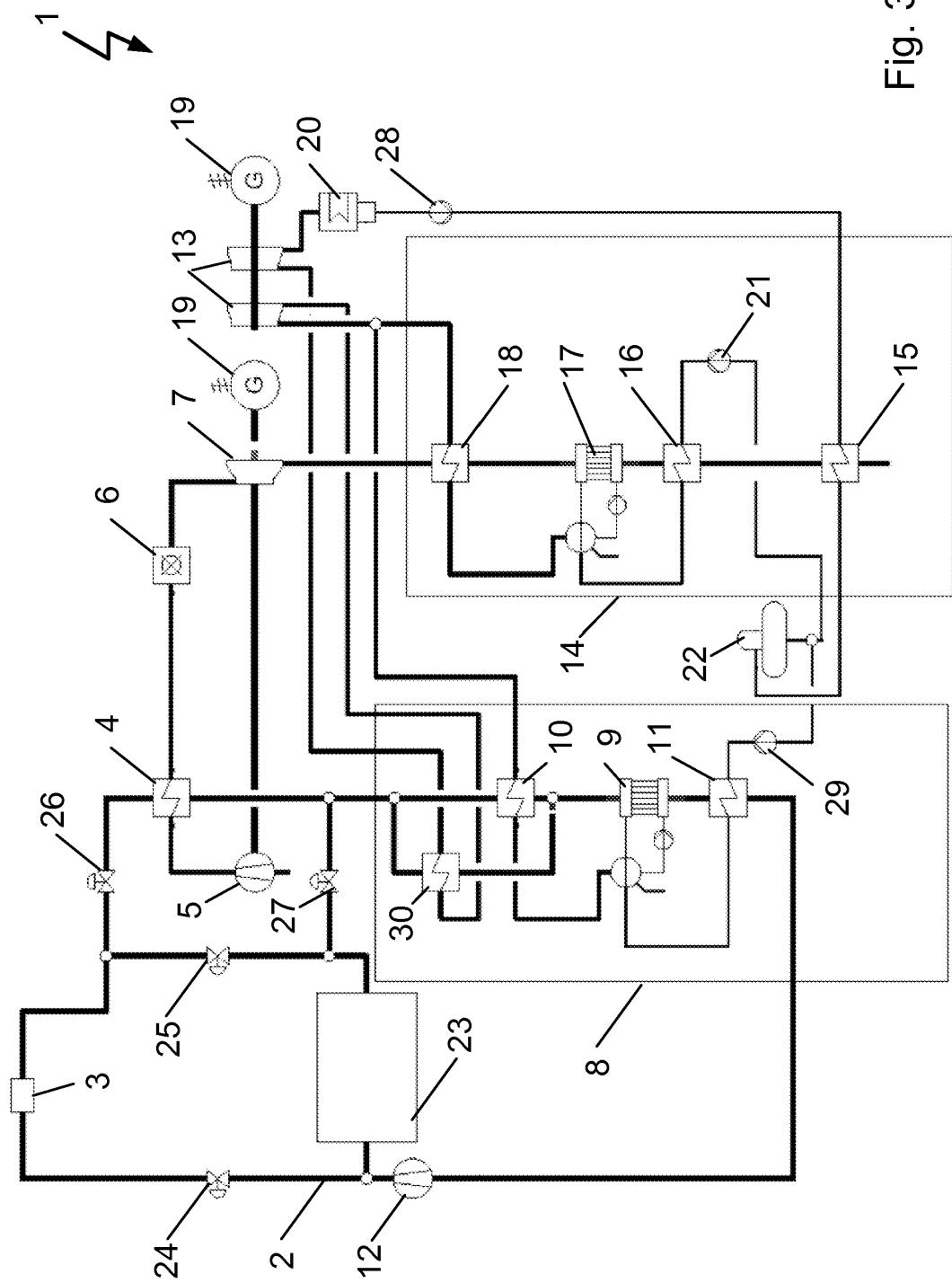


Fig. 4

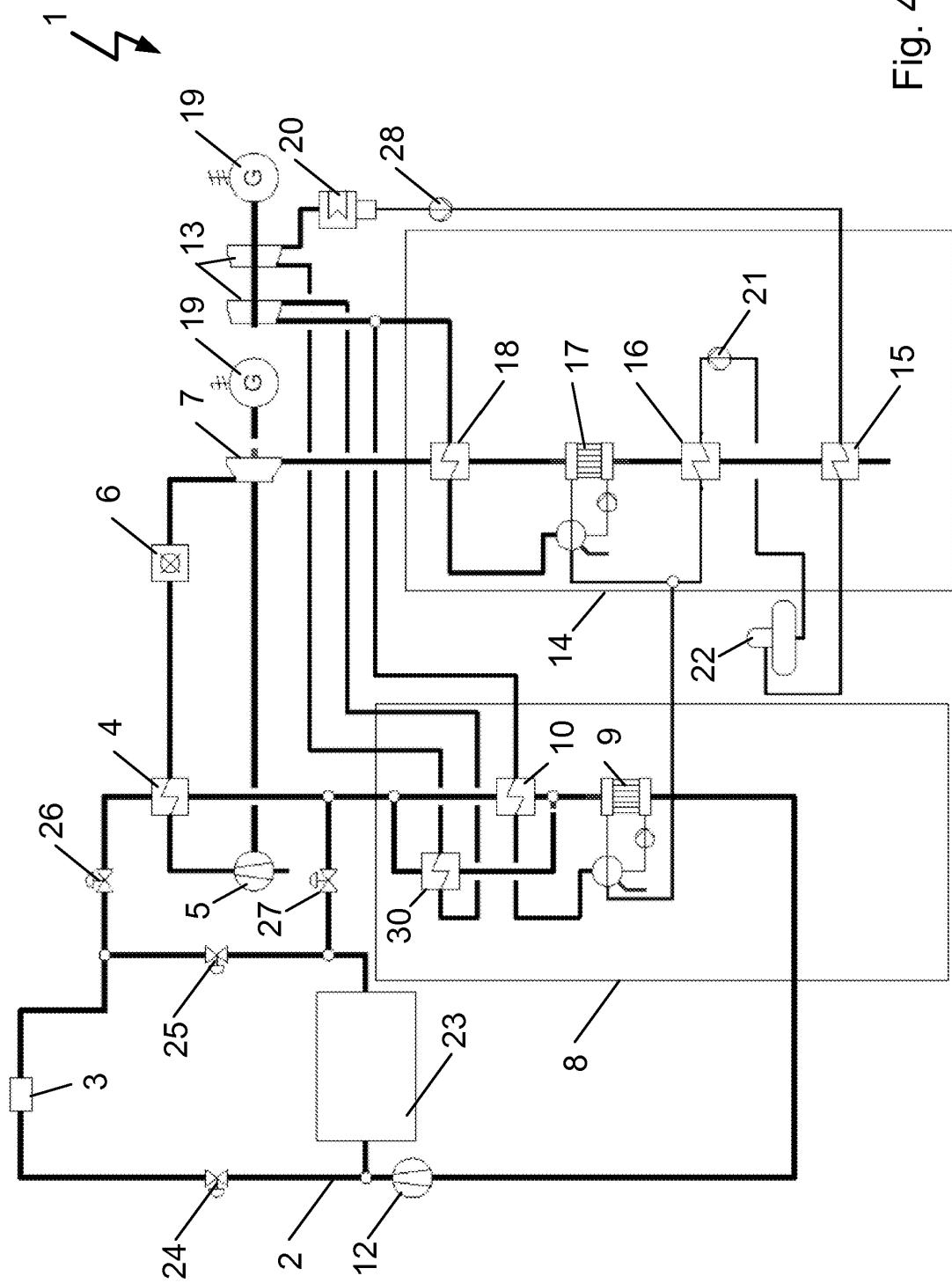


Fig. 5

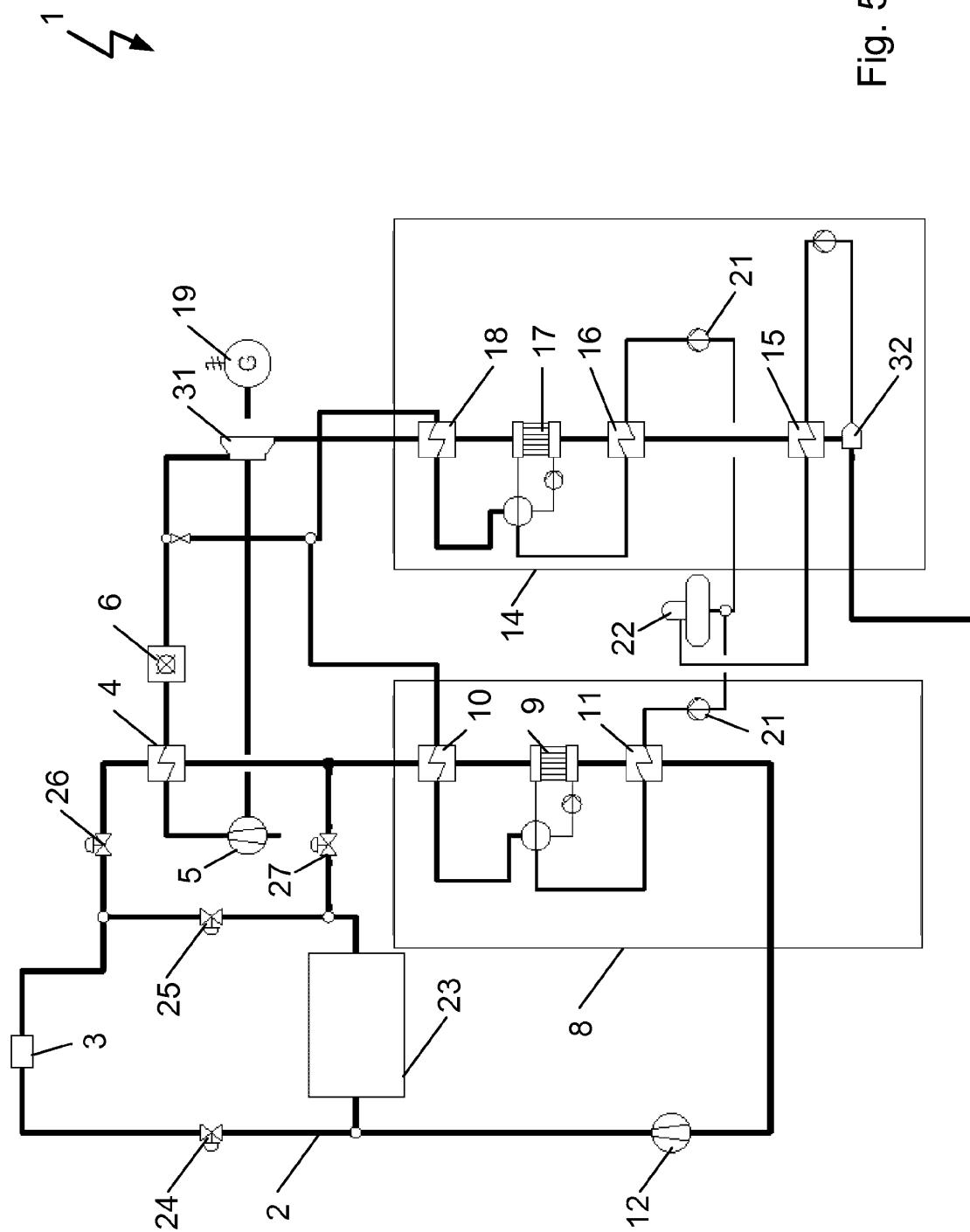


Fig. 6

