

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 835 740**

51 Int. Cl.:

F03G 6/00 (2006.01)

F03G 6/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2012** **E 12162906 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.09.2020** **EP 2647841**

54 Título: **Sistema de energía termosolar**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
23.06.2021

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC TECHNOLOGY GMBH
(100.0%)
Brown Boveri Strasse 7
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**EHR SAM, ANDREAS;
HERZOG, MAURUS y
RAY, SUMAN**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 835 740 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

Sistema de energía termosolar

5 Campo técnico

La presente descripción se refiere de forma general al campo de la energía solar de concentración (CSP). Las realizaciones de la presente descripción se refieren a un sistema de energía termosolar que utiliza energía solar concentrada para generar electricidad y/o a un método operativo para un sistema de energía termosolar.

10 Antecedentes técnicos

La energía solar concentrada (CSP) conlleva el uso de lentes, espejos u otros dispositivos ópticos para concentrar la radiación solar procedente de un área de incidencia de gran tamaño sobre un área de pequeño tamaño. La energía procedente de la radiación solar se utiliza posteriormente para generar energía eléctrica. La energía solar concentrada tiene el potencial de convertirse en una importante fuente de energía en el futuro.

Ha habido muchas propuestas de tecnología de energía solar concentrada. Se considera que la tecnología que tiene mayor potencial para facilitar una generación de energía de alto rendimiento es la de sistemas de energía termosolar concentrada. Esta tecnología conlleva el uso de un generador de vapor de receptor solar, montado sobre una torre, sobre el cual la radiación solar es reflejada por un conjunto de reflectores de seguimiento, de forma típica helióstatos que forman un campo de helióstatos alrededor de la torre. La radiación solar reflejada calienta directamente agua que circula a través del generador de vapor de receptor solar. Esto genera vapor sobrecalentado que se utiliza para impulsar un conjunto generador de turbinas de vapor y de este modo generar energía eléctrica, de modo bien conocido, utilizando el ciclo de Rankine.

Los sistemas de energía termosolar concentrada normalmente tienen capacidad de almacenamiento de energía, por lo que pueden continuar generando energía eléctrica cuando la radiación solar que se refleja sobre el generador de vapor de receptor solar no sea suficiente para generar vapor a la presión y la temperatura requeridas para impulsar el conjunto generador de turbinas de vapor. La capacidad de almacenamiento de energía normalmente es proporcionada por una disposición de almacenamiento de energía térmica que utiliza un fluido de almacenamiento de energía térmica de gran calor específico, de forma típica una sal fundida o una mezcla de distintas sales fundidas. La energía térmica se almacena durante un ciclo de carga calentando la sal fundida, y la energía térmica se recupera posteriormente durante un ciclo de descarga para calentar agua y de este modo generar vapor para el conjunto generador de turbinas de vapor.

Durante un primer modo operativo del sistema de energía termosolar, una parte del vapor sobrecalentado generado por el generador de vapor de receptor solar se suministra directamente a la entrada de turbina de alta presión del conjunto generador de turbinas de vapor para la generación de energía eléctrica. El vapor sobrecalentado restante se suministra a la disposición de almacenamiento de energía térmica para apoyar el ciclo de carga, en el que se utiliza un intercambiador de calor para extraer energía térmica del vapor sobrecalentado y transferirla a la sal fundida. La sal fundida calentada se almacena en un recipiente de almacenamiento aislado. Durante un segundo modo operativo del sistema de energía termosolar, cuando el vapor sobrecalentado no es suministrado por el generador de vapor de receptor solar al conjunto generador de turbinas de vapor o a la disposición de almacenamiento de energía térmica, la energía térmica almacenada previamente se recupera durante un ciclo de descarga de la sal fundida caliente mediante un intercambiador de calor, y la energía térmica recuperada se utiliza para calentar agua y de este modo generar vapor sobrecalentado. Este vapor sobrecalentado se suministra al conjunto generador de turbinas de vapor, de nuevo por la entrada de turbina de alta presión, para generar energía eléctrica.

Para que los sistemas de energía termosolar de este tipo funcionen a máxima eficiencia y a máxima producción de potencia, el vapor generado por la disposición de almacenamiento de energía térmica durante el segundo modo operativo debería tener idealmente la misma temperatura y presión que el vapor generado por el generador de vapor de receptor solar durante el primer modo operativo. Sin embargo, debido al modo en que se calienta la sal fundida durante el primer modo operativo, es decir, por extracción de energía térmica del vapor sobrecalentado en un intercambiador de calor, la temperatura máxima que puede alcanzar la sal fundida es inferior a la temperatura máxima del vapor del que se extrae la energía térmica. Esto se traduce en una pérdida de exergía [también conocida como pérdida por diferencia de temperatura (pinch point loss)], que se produce porque el vapor sobrecalentado cambia de estado a medida que se enfría en el intercambiador de calor durante el ciclo de carga y se transforma en agua condensada. Durante este cambio de estado, durante el cual se libera calor latente, la temperatura del vapor no disminuye, pero la temperatura de la sal fundida aumenta monótonicamente. Debido a esta disparidad de comportamiento térmico entre los dos fluidos que se encuentran en el intercambiador de calor, la temperatura más alta que puede alcanzar la sal fundida es menor que la temperatura del vapor sobrecalentado entrante, lo que da lugar a una exergía reducida.

Por consiguiente, cuando se recupera posteriormente energía térmica de la sal fundida durante el segundo modo operativo del sistema de energía térmica solar para generar vapor para el conjunto generador de turbinas de vapor,

el vapor generado alcanza una presión más baja (posiblemente más de un 20 % más baja) y una temperatura más baja (posiblemente más de 30 °C a 100 °C o más inferior dependiendo de la disposición de almacenamiento de energía térmica que se utilice) que el valor sobrecalentado que se utilizó para calentar la sal fundida e impulsar el conjunto generador de turbinas de gas durante el primer modo operativo. Dado que durante el segundo modo operativo se suministra vapor a una presión y una temperatura subóptimas al conjunto generador de turbinas de vapor a través de la entrada de turbina de alta presión, el conjunto generador de turbinas de vapor funciona en un estado de carga parcial, lo que reduce la producción de potencia del sistema de energía termosolar. No es infrecuente que la producción de potencia sea más de un 20 % más baja durante el segundo modo operativo que durante el primer modo operativo (cuando una parte del vapor sobrecalentado procedente del generador de vapor de receptor solar se suministra directamente a la entrada de turbina de alta presión del conjunto generador de turbinas de vapor).

Del documento WO 2011/119413 A2 se conocen sistemas y métodos para integrar centrales solares térmicas y geotérmicas utilizando un almacenamiento de energía térmica multietapa.

De la patente US-4.164.123 se conoce un sistema de energía eléctrica termosolar que utiliza un receptor solar que comprende varios tipos de tubos (A, B, C, D) para acumular radiación solar a diferentes niveles de temperatura en el mismo colector.

Sería deseable por lo tanto proporcionar un sistema de energía termosolar que tenga un rendimiento operativo y una producción de potencia mejorados, especialmente durante un segundo modo operativo, cuando se genera vapor recuperando energía térmica almacenada procedente de un fluido de almacenamiento de energía térmica de una disposición de almacenamiento de energía térmica.

Resumen de la descripción

Según un primer aspecto de la presente descripción, se proporciona un sistema de energía termosolar que comprende un generador de vapor de receptor solar según la reivindicación 1.

Según un segundo aspecto de la presente descripción, se proporciona un método para operar un sistema de energía termosolar según la reivindicación 9.

Al inyectar el vapor a menor presión y menor temperatura generado durante el segundo modo operativo en la turbina de vapor multietapa en una ubicación que evite la entrada de turbina de alta presión y que sea compatible con las condiciones subóptimas del vapor (es decir, menor presión y menor temperatura), la producción de potencia de la turbina de vapor multietapa es considerablemente mayor. En algunas circunstancias, la potencia generada durante el segundo modo operativo del sistema de energía térmica solar puede ser similar a la potencia generada durante el primer modo operativo si el vapor procedente del generador de vapor de receptor solar se suministra directamente a la entrada de turbina de alta presión.

La producción de potencia de la turbina de vapor depende del régimen de caudal másico de vapor a través de la turbina, así que para aumentar la producción de potencia es necesario aumentar el caudal másico de vapor. Como las turbinas de vapor modernas tienen una capacidad de entrada fija y por lo tanto funcionan con un caudal volumétrico constante de vapor, es necesario variar la presión y la temperatura del vapor para variar el caudal másico. Según la presente descripción, el vapor a menor presión y menor temperatura inyectado en el punto aguas abajo durante el segundo modo operativo tiene una presión más alta que el vapor en el punto o etapa correspondiente durante el primer modo operativo que se ha suministrado a la entrada de turbina de alta presión y que se expande a través de la turbina a dicho punto, sirviendo dicha expansión para reducir la presión del vapor y de este modo obtener trabajo. El caudal másico de vapor a través de la turbina de vapor en el punto aguas abajo es por tanto mayor durante el segundo modo operativo que durante el primer modo operativo, y esto aumenta la producción de potencia de la(s) etapa(s) de turbina aguas abajo del punto de inyección y, por tanto, la producción de potencia de la turbina de vapor durante el segundo modo operativo.

Evitar la entrada de turbina de alta presión durante el segundo modo operativo también tiene la ventaja de minimizar los esfuerzos térmicos en la entrada de turbina de alta presión debido a que no se somete a distintas temperaturas de vapor durante el primer y segundo modo operativo. El funcionamiento cíclico entre el primer y segundo modo operativo se produce con frecuencia, por ejemplo, durante el arranque diario y en condiciones de nubosidad, cuando se producen fluctuaciones de carga.

En el campo de las turbinas de vapor, normalmente se hace referencia a una etapa como la localización de un par adyacente de álabes guía y aspas o aletas giratorias. Todas las etapas forman conjuntamente la ruta de vapor a través de la turbina. Y de forma típica, a una presión de alimentación dada, la caída de presión a lo largo de la ruta de vapor está bien definida, dando por tanto a cada etapa una presión nominal en el primer modo operativo. La turbina de vapor multietapa puede incluir una etapa de alta presión, y la entrada de turbina de alta presión puede proporcionarse en una región de entrada de la etapa de alta presión. Por tanto, el vapor generado por el generador de vapor de receptor solar

durante el primer modo operativo puede expandirse inicialmente en la etapa de turbina de alta presión durante el primer modo operativo.

La turbina de vapor multietapa puede incluir una o más etapas de menor presión aguas abajo de la etapa de alta presión y normalmente incluye una etapa de presión intermedia y una etapa de baja presión.

En una realización, el sistema de energía termosolar puede estar dispuesto para inyectar el vapor a menor presión y menor temperatura generado durante el segundo modo operativo en una de las etapas de menor presión para impulsar la turbina de vapor. En una ejecución preferida, el sistema de energía termosolar puede estar dispuesto para inyectar el vapor a menor presión y menor temperatura generado durante el segundo modo operativo en la etapa de presión intermedia para impulsar la turbina de vapor. En esta ejecución preferida, es la etapa de presión intermedia la que es compatible con la menor presión y la menor temperatura del vapor generado durante el segundo modo operativo. Por tanto, el vapor a menor presión y menor temperatura se expande inicialmente en la etapa de presión intermedia y posteriormente se expande en la etapa de baja presión durante el segundo modo operativo. Durante el segundo modo operativo, muy poco o ningún vapor se expande en la etapa de alta presión evitada y, por tanto, la etapa de alta presión no contribuye a la producción de potencia de la turbina.

En otra realización, la etapa de alta presión puede incluir una primera sección y una segunda sección aguas abajo de la primera sección. El sistema de energía termosolar puede estar dispuesto para inyectar el vapor a menor presión y menor temperatura generado durante el segundo modo operativo en la segunda sección de la etapa de alta presión. En esta realización, es la segunda sección de la etapa de alta presión la que es compatible con el vapor a menor presión y menor temperatura generado durante el segundo modo operativo. Por tanto, el vapor a menor presión y menor temperatura se expande inicialmente en la segunda sección de la etapa de alta presión y, posteriormente puede expandirse en la etapa de menor presión durante el segundo modo operativo. Durante el segundo modo operativo no se expande vapor en la primera sección evitada de la etapa de alta presión y, por tanto, la primera sección no contribuye a la producción de potencia de la turbina.

El sistema de energía termosolar puede estar dispuesto para suministrar una pequeña parte del vapor a menor presión y menor temperatura generado por la disposición de almacenamiento de energía térmica durante el segundo modo operativo a la entrada de turbina de alta presión para actuar como un flujo de enfriamiento para la región de alta presión de la turbina de vapor. Por tanto, el líquido de refrigeración impide que la región de alta presión, por ejemplo, la etapa de alta presión o la primera sección de la etapa de alta presión, de la turbina de vapor funcione en vacío. El sistema de energía termosolar puede incluir un calentador, por ejemplo, un sobrecalentador eléctrico, para calentar el líquido de refrigeración antes de inyectarlo en la entrada de turbina de alta presión. De forma ventajosa, esto puede evitar un enfriamiento excesivo de la región de alta presión, por ejemplo, la etapa de alta presión o la primera sección de la etapa de alta presión.

El sistema de energía termosolar puede incluir un condensador, que puede conectarse a la región de alta presión de la turbina de vapor, por ejemplo, la etapa de alta presión o la primera sección de la etapa de alta presión, durante el segundo modo operativo. El condensador mantiene la región de alta presión a una baja presión y, por tanto, evita que se alcancen temperaturas excesivas en la región de alta presión cuando, tal y como se ha descrito anteriormente, no se proporciona un flujo de enfriamiento a la región de alta presión.

El sistema de energía termosolar puede incluir un dispositivo de embrague para desacoplar la región de alta presión de la turbina de vapor durante el segundo modo operativo. Con esta disposición, la región de alta presión de la turbina de vapor no rota durante el segundo modo operativo y, por lo tanto, puede no ser necesario proporcionar un flujo de enfriamiento a la región de alta presión o conectar la región de alta presión a un condensador de la manera descrita anteriormente. El dispositivo de embrague puede estar dispuesto entre la región de alta presión de la turbina de vapor, por ejemplo, la etapa de alta presión o la primera sección de la etapa de alta presión, y el generador eléctrico. El dispositivo de embrague puede estar dispuesto entre la etapa de alta presión y la etapa de presión intermedia para desacoplar la etapa de alta presión de la etapa de presión intermedia durante el segundo modo operativo. El dispositivo de embrague se puede disponer entre las primera y segunda secciones de la etapa de alta presión para desacoplar la primera sección de la segunda sección durante el segundo modo operativo.

Una realización del método según el segundo aspecto puede comprender inyectar el vapor a menor presión y menor temperatura generado durante el segundo modo operativo en una de las etapas de menor presión para impulsar la turbina de vapor. En una realización preferida, el método operativo puede comprender inyectar el vapor a menor presión y menor temperatura generado durante el segundo modo operativo en la etapa de presión intermedia para impulsar la turbina de vapor. Tal y como se ha descrito anteriormente, en esta realización preferida el vapor a menor presión y menor temperatura se expande inicialmente en la etapa de presión intermedia y, posteriormente, en la etapa de baja presión.

En realizaciones en las que la etapa de turbina de alta presión comprende unas primera y segunda secciones, el método operativo puede comprender inyectar el vapor a menor presión y menor temperatura generado durante el segundo modo operativo en la segunda sección de la etapa de alta presión.

El método operativo puede comprender suministrar una parte del vapor a menor presión y menor temperatura a la entrada de turbina de alta presión durante el segundo modo operativo. Como se ha mencionado, actúa como un flujo de enfriamiento para la región de alta presión de la turbina de vapor. El método operativo puede comprender calentar el flujo de enfriamiento de vapor antes de la inyección en la entrada de turbina de alta presión, por ejemplo haciendo pasar el flujo de enfriamiento de vapor a través de un sobrecalentador eléctrico o de otro calentador adecuado.

El método operativo puede comprender mantener la región de alta presión de la turbina de vapor a una baja presión durante el segundo modo operativo, por ejemplo, conectando la región de alta presión a un condensador, como se ha explicado anteriormente.

El método operativo puede comprender desacoplar la región de alta presión de la turbina de vapor durante el segundo modo operativo. Esto impide la rotación de la región de alta presión de la turbina de vapor durante el modo operativo y puede resultar ventajoso por los motivos ya descritos.

El fluido de almacenamiento de energía térmica es de forma típica un líquido. El líquido de almacenamiento de energía térmica puede ser una sal fundida, que, por ejemplo, puede ser capaz de calentarse hasta una temperatura operativa máxima en la región de 580 °C durante el primer modo operativo para el almacenamiento eficaz de energía térmica. La sal fundida puede ser una sal de nitrato o una sal de carbonato, aunque otras formas de sal fundida, tales como mezclas de sales, están completamente dentro del ámbito de la presente descripción.

La disposición de almacenamiento de energía térmica puede incluir dos lugares de almacenamiento de fluido para el fluido de almacenamiento de energía térmica, uno de ellos puede ser un tanque de almacenamiento de fluido a alta temperatura y el otro un tanque de almacenamiento de fluido a una temperatura relativamente inferior. De forma alternativa, el sistema de almacenamiento de energía térmica puede incluir ambos lugares de almacenamiento de fluido en un solo tanque de almacenamiento de fluido termoclino, por ejemplo, con un fluido a alta temperatura en la parte superior y en un fluido a baja temperatura en la parte inferior, aunque estas soluciones de un solo tanque de almacenamiento todavía están en fase de desarrollo. La disposición de almacenamiento de energía térmica puede incluir un intercambiador de calor que puede situarse entre los lugares de almacenamiento de fluidos a alta temperatura y a baja temperatura, lo que permite que la energía térmica se transfiera desde el vapor sobrecalentado al fluido de almacenamiento de energía térmica a medida que circula desde el lugar de almacenamiento de fluido a baja temperatura al lugar de almacenamiento de fluido a alta temperatura durante un ciclo de carga. El sistema de almacenamiento de energía térmica puede incluir un intercambiador de calor adicional que puede funcionar para recuperar la energía térmica del fluido de almacenamiento de energía térmica a medida que circula desde el lugar de almacenamiento de fluido a alta temperatura al lugar de almacenamiento de fluido a baja temperatura durante un ciclo de descarga. La energía térmica recuperada por el intercambiador de calor adicional se utiliza para generar vapor para la expansión en la turbina de vapor multietapa durante el segundo modo operativo.

Breve descripción de los dibujos

Las Figuras 1 y 2 son ilustraciones esquemáticas de una primera realización de un sistema de energía termosolar en un primer y segundo modo de funcionamiento respectivamente;

la Figura 3 es una ilustración esquemática de una segunda realización de un sistema de energía termosolar; y

la Figura 4 es una ilustración esquemática de una tercera realización de un sistema de energía termosolar.

Descripción detallada de las realizaciones

A continuación se describirán realizaciones de la presente descripción únicamente a modo de ejemplo y haciendo referencia a los dibujos acompañantes.

Haciendo referencia inicialmente a las Figuras 1 y 2, se muestra esquemáticamente en ellas un sistema 10 de energía termosolar que incluye un generador 12 de vapor de receptor solar. Aunque no se muestra en los dibujos, generador 12 de vapor de receptor solar comprende un receptor de radiación solar montado en la parte superior de una torre, reflejándose la radiación solar sobre la receptor de radiación solar mediante un campo de helióstatos que rodean la torre. El campo de helióstatos puede ser sustituido por cualquier otro sistema de calefacción solar, como colectores de Fresnel.

El sistema de energía termosolar incluye una disposición 14 de almacenamiento de energía térmica que utiliza una sal fundida como fluido de calentamiento adecuado de almacenamiento de energía térmica. Aunque no se ilustra, en realizaciones típicas, la disposición 14 de almacenamiento de energía térmica incluye un tanque de almacenamiento de sal caliente aislado y un tanque de almacenamiento de sal relativamente fría, un primer intercambiador de calor para transferir calor a la sal fundida fría a medida que fluye desde el tanque de almacenamiento de saliente frío hasta el tanque de almacenamiento de saliente caliente durante un ciclo de carga, y un segundo intercambiador de

calor para recuperar calor de la sal fundida caliente a medida que fluye desde el tanque de almacenamiento de sal caliente hasta el tanque de almacenamiento de sal fría durante un ciclo de descarga.

El sistema 10 de energía termosolar incluye una turbina 16 de vapor multietapa que comprende una etapa de alta presión HP y unas etapas de presión intermedia y de baja presión IP, LP aguas abajo de la etapa de alta presión HP. La turbina 16 de vapor incluye una entrada de turbina 18 de alta presión en la región de entrada de la etapa de alta presión HP por la que puede suministrarse vapor a la etapa de alta presión HP para una expansión a través de la turbina 16 de vapor. El vapor sobrecalentado que se ha expandido a través de la turbina 16 de vapor impulsa un generador eléctrico G para generar energía eléctrica de forma convencional. También se proporciona un condensador 20 refrigerado por aire.

El sistema 10 de energía termosolar funciona en distintos modos dependiendo de los requisitos de generación de energía imperantes y de la cantidad de radiación solar disponible.

Durante las horas de luz, el sistema 10 de energía termosolar puede funcionar en un primer modo operativo (modo combinado de generación/almacenamiento de energía), tal y como se muestra en la Figura 1, siempre que haya una cantidad suficiente de radiación solar. En el primer modo operativo, el agua que circula en el generador 12 de vapor de receptor solar es calentado por la energía térmica procedente de la radiación solar reflejada por el campo de helióstatos al receptor de radiación solar. Esto genera vapor sobrecalentado, que normalmente se encuentra a una presión en la región de 120 a 175 bar y a una temperatura en la región de 560 °C a 590 °C. En la realización ilustrada, el vapor sobrecalentado generado tiene una presión de unos 170 bar y una temperatura de unos 585 °C.

En el primer modo operativo, una parte del caudal másico del vapor sobrecalentado generado por el generador 12 de vapor de receptor solar se suministra directamente a la entrada de turbina 18 de alta presión para que se expanda a través de las etapas de presión alta, intermedia y baja HP, IP, LP de la turbina 16 de vapor de forma convencional. Tal y como se indicó anteriormente, la expansión del vapor sobrecalentado en la turbina 16 de vapor impulsa el generador eléctrico G, generando de este modo energía eléctrica.

Una parte del caudal másico de vapor sobrecalentado generado por el generador 12 de vapor de receptor solar se suministra a la disposición 14 de almacenamiento de energía térmica y se hace pasar a través del primer intercambiador de calor durante el ciclo de carga. El vapor sobrecalentado se enfría en el primer intercambiador de calor, y se transfiere calor del vapor sobrecalentado a la sal fundida a medida que circula desde el tanque de almacenamiento de sal fría hasta el tanque de almacenamiento de sal caliente.

En la realización del primer modo operativo ilustrado en la Figura 1, aproximadamente un 50 % del caudal másico de vapor generado por el generador 12 de vapor de receptor solar se suministra a la entrada 18 de turbina de alta presión para apoyar la generación de energía eléctrica, mientras que el 50 % restante del caudal másico de vapor se suministra a la disposición 14 de almacenamiento de energía térmica para calentar la sal fundida. Naturalmente, estas proporciones pueden variarse según proceda controlando las válvulas del sistema.

En el primer modo operativo ilustrado en la Figura 1, las válvulas designadas como V1, V3, V4, V5 y V6 están abiertas, mientras que la válvula designada como V2 está cerrada, para que el vapor sobrecalentado generado por el generador 12 de vapor de receptor solar fluya a lo largo de la ruta indicada por las flechas.

En momentos en los que no hay suficiente energía solar como para calentar directamente el agua que circula en el generador 12 de vapor de receptor solar para proporcionar vapor a la presión y la temperatura deseadas para un funcionamiento eficiente del sistema 10 de energía termosolar en el primer modo operativo descrito anteriormente, el sistema 10 de energía termosolar puede funcionar en un segundo modo operativo (modo de recuperación de energía), como se muestra en la Figura 2, para suministrar vapor sobrecalentado a la turbina 16 de vapor. En el segundo modo operativo, el segundo intercambiador de calor se utiliza para recuperar energía térmica de la sal fundida caliente durante el ciclo de descarga a medida que la sal fundida caliente fluye desde el tanque de almacenamiento de sal caliente hasta el tanque de almacenamiento de sal fría. Este modo operativo se emplea de forma típica durante las horas sin luz diurna en las que no hay radiación solar disponible para generar vapor en el generador 12 de vapor de receptor solar. También puede utilizarse durante las horas de luz diurna si no hay suficiente radiación solar para generar vapor en el generador 12 de vapor de receptor solar a la presión y la temperatura deseadas para la turbina 16 de vapor, por ejemplo, en condiciones de nubosidad.

Debido a las pérdidas de exergía descritas anteriormente en la sección de antecedentes técnicos de la presente memoria descriptiva, el vapor sobrecalentado generado durante el segundo modo operativo recuperando energía térmica de la sal fundida caliente durante el ciclo de descarga tiene menores presión y temperatura que el vapor sobrecalentado generado por el generador 12 de vapor de receptor solar durante el primer modo operativo. En la realización ilustrada, el vapor generado por la disposición 14 de almacenamiento de energía térmica durante el segundo modo operativo del sistema 10 de energía termosolar tiene una presión de unos 80 bar y una temperatura de unos 360 °C. El caudal másico de vapor es un 45 % mayor que durante la producción directa.

Según aspectos de la presente descripción, el vapor a menor presión y menor temperatura generado durante el segundo modo operativo se inyecta en la etapa intermedia IP de la turbina 16 de vapor, en vez de en la etapa de alta presión HP, por la entrada de turbina 18 de alta presión, siendo la etapa intermedia compatible con las condiciones del vapor a menor presión y menor temperatura durante el segundo modo operativo. Por lo tanto, durante el segundo modo operativo se evita la entrada de turbina 18 de alta presión y, por tanto, la etapa de alta presión HP de la turbina 16 de vapor. El vapor no se expande en la etapa de alta presión HP durante el segundo modo operativo, y la etapa de alta presión HP no contribuye a la generación de energía eléctrica.

Como se ha explicado anteriormente, evitar la etapa de alta presión HP proporciona vapor a una mayor presión (unos 80 bar) a la etapa de presión intermedia IP que el vapor que fluye a través de la etapa intermedia de presión IP durante el primer modo operativo (cuando la presión es de unos 50 bar). Por lo tanto, hay un mayor caudal másico de vapor (aproximadamente un 45 % mayor) a través de la etapa de presión intermedia IP durante el segundo modo operativo que durante el primer modo operativo () cuando el vapor procedente del generador 12 de vapor de receptor solar se expande inicialmente en la etapa de alta presión HP. Como consecuencia del incremento en caudal másico de vapor, la producción de potencia de la etapa de presión intermedia IP y también de la etapa de baja presión LP se incrementa durante el segundo modo operativo, proporcionándose de este modo una mayor producción de potencia que la que, de otro modo se hubiese conseguido si el vapor a menor presión y menor temperatura se hubiese inyectado en la entrada de turbina 18 de alta presión y se hubiese expandido a través de las etapas de presión alta, intermedia y baja HP, IP, LP.

En el segundo modo operativo ilustrado en la Figura 2, las válvulas designadas como V1, V2, V5 y V6 están abiertas, mientras que las válvulas designadas como V3 y V4 están cerradas, para que el vapor sobrecalentado generado por el sistema 14 de almacenamiento de energía térmica fluya a lo largo de la ruta indicada por las flechas y evite la etapa de alta presión HP de la turbina 16 de vapor. Además, la válvula designada como V7 preferiblemente está abierta para que la etapa de alta presión HP esté conectada al condensador 20. Esto mantiene la etapa de alta presión HP a una presión relativamente baja durante el segundo modo operativo y de este modo se evita que se alcancen temperaturas excesivas en la etapa de alta presión HP, que está funcionando en vacío.

Haciendo referencia ahora a la Figura 3, en ella se muestra una segunda realización de un sistema 110 de energía termosolar similar al sistema 10 de energía termosolar ilustrado en las Figuras 1 y 2, y en la que componentes correspondientes se han identificado utilizando los mismos números de referencia.

Durante el primer modo operativo, el sistema 110 de energía termosolar de la Figura 3 funciona del mismo modo que el sistema 10 de energía termosolar de las Figuras 1 y 2. Sin embargo, durante el segundo modo operativo, la válvula 3 se abre parcialmente para permitir el suministro de un pequeño flujo de enfriamiento de vapor generado recuperando energía térmica de la sal fundida a la etapa de alta presión HP de la turbina 16 de vapor a través de la entrada 18 de turbina de alta presión. El sistema 110 de energía termosolar incluye un sobrecalentador eléctrico 22 que calienta el flujo de enfriamiento durante el segundo modo operativo para evitar un enfriamiento excesivo de la etapa de alta presión HP. El flujo de enfriamiento suministrado a la etapa de alta presión HP no contribuye a la producción de potencia de la turbina 16 de vapor. La válvula V7 se abre durante el segundo modo operativo para que el vapor condensado procedente de la etapa de alta presión HP pueda introducirse en el condensador 22.

Haciendo referencia ahora a la Figura 4, se muestra una tercera realización de un sistema 210 de energía termosolar similar al sistema 10 de energía termosolar ilustrado en las Figuras 1 y 2, y en la que componentes correspondientes se identifican utilizando los mismos números de referencia.

El sistema 210 de energía termosolar incluye un dispositivo 24 de embrague que puede utilizarse durante el segundo modo operativo para desacoplar la etapa de alta presión HP de la turbina 16 de vapor del generador eléctrico G y de las etapas de presión intermedia y baja IP, LP. Por consiguiente, la etapa de alta presión HP no rota durante el segundo modo operativo y, por tanto, no es necesario conectar la etapa de alta presión HP al condensador 20 para mantenerlo a una presión baja, tal y como se ha descrito anteriormente haciendo referencia a la Figura 2, o para proporcionar un flujo de enfriamiento a la etapa 20 de alta presión, tal y como se describió anteriormente haciendo referencia a la Figura 3.

En principio, también puede lograrse un mayor caudal másico instalando una turbina paralela.

Aunque en los párrafos anteriores se hayan descrito realizaciones ilustrativas, debe entenderse que pueden realizarse diversas modificaciones a dichas realizaciones sin abandonar el ámbito de las reivindicaciones adjuntas. Por tanto, la amplitud y ámbito de las reivindicaciones no deberán limitarse a las realizaciones ilustrativas descritas anteriormente.

Por ejemplo, las presiones y temperaturas de vapor en distintos puntos del sistema de energía termosolar se proporcionan únicamente con un propósito ilustrativo. Debe entenderse que hay otras presiones y temperaturas de vapor que están completamente dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

Aunque el fluido de almacenamiento de energía térmica normalmente es una sal fundida, podrían emplearse otros fluidos de almacenamiento de energía térmica que tengan un alto calor específico. También podrían emplearse otros sistemas de almacenamiento de energía térmica basados en otros medios de almacenamiento (p. ej., medios sólidos tales como el hormigón).

- 5 Salvo que el contexto requiera claramente otra cosa, hay que interpretar que, a lo largo de la descripción y de las reivindicaciones, las palabras “comprende/n”, “comprendiendo” y similares tienen un sentido inclusivo y no exclusivo o exhaustivo; es decir, en el sentido de “incluyen, aunque no de forma limitativa”.

REIVINDICACIONES

1. Sistema (10, 110, 210) de energía termosolar que comprende un generador (12) de vapor de receptor solar, una disposición (14) de almacenamiento de energía térmica que incluye un fluido de almacenamiento de energía térmica, y una turbina (16) de vapor multietapa para impulsar un generador eléctrico (G) para producir energía eléctrica, en donde el sistema de energía termosolar tiene:
5
10 un primer modo operativo en el vapores generado por el generador (12) de vapor de receptor solar y suministrado a la disposición (14) de almacenamiento de energía térmica para calentar el fluido de almacenamiento de energía térmica y a la entrada (18) de almacenamiento de energía térmica de la turbina (16) de vapor multietapa para impulsar la turbina (16) de vapor por expansión a través de una etapa de alta presión (HP), una etapa de presión Intermedia (IP) y una etapa de baja presión (LP); y
15 un segundo modo operativo en el que se genera vapor mediante la recuperación de energía térmica almacenada del fluido de almacenamiento de energía térmica para impulsar la turbina (16) de vapor, en donde el vapor generado mediante la recuperación de energía térmica almacenada procedente del fluido de almacenamiento de energía térmica se inyecta en la turbina (16) de vapor multietapa para impulsar la turbina de vapor en una etapa de turbina aguas abajo de la entrada (18) de turbina de alta presión, donde la presión del vapor generada mediante la recuperación de energía térmica almacenada supera la presión presente en la etapa de turbina aguas abajo de la entrada (18) de turbina de alta presión durante el primer modo operativo, aumentando por tanto el caudal másico a través de la turbina en comparación con el caudal másico durante el primer modo operativo.
20
2. Sistema de energía termosolar según la reivindicación 1, en donde la entrada (18) de turbina de alta presión se proporciona en una región de entrada de una etapa de alta presión (HP) de la turbina (16) de vapor multietapa.
25
3. Sistema de energía termosolar según la reivindicación 1, en donde el vapor a la presión de descarga de almacenamiento y a la temperatura de descarga de almacenamiento generado durante el segundo modo operativo se inyecta en la etapa de presión Intermedia (IP) para impulsar la turbina de vapor.
30
4. Sistema de energía termosolar según la reivindicación 2, en donde la etapa de alta presión (HP) incluye una primera sección y una segunda sección aguas abajo de la primera sección, y el vapor a la presión de descarga de almacenamiento y a la temperatura de descarga de almacenamiento generado durante el segundo modo operativo se inyecta en la segunda sección de la etapa de alta presión (HP).
35
5. Sistema de energía termosolar según cualquier reivindicación anterior, en donde el sistema de energía termosolar está dispuesto para suministrar una parte del vapor a la presión de descarga de almacenamiento y a la temperatura de descarga de almacenamiento generado por la disposición de almacenamiento de energía térmica (14) durante el segundo modo operativo a la entrada (18) de turbina de alta presión para actuar como un flujo de enfriamiento para la región de alta presión de la turbina (16) de vapor.
40
6. Sistema de energía termosolar según la reivindicación 5, que incluye además un sobrecalentador eléctrico (22) para calentar el flujo de enfriamiento antes de la inyección en la entrada (18) de turbina de alta presión.
45
7. Sistema de energía termosolar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el sistema de energía termosolar incluye un condensador (20) que se conecta a la región de alta presión de la turbina (16) de vapor durante el segundo modo operativo para mantener la región de alta presión a una presión baja.
50
8. Sistema de energía termosolar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el sistema de energía termosolar incluye una disposición (24) de embrague para desacoplar la región de alta presión de la turbina (16) de vapor y de este modo impedir su rotación durante el segundo modo operativo.
55
9. Método para operar un sistema (10, 110, 210) de energía termosolar, comprendiendo el sistema un generador (12) de vapor de receptor solar, una disposición (14) de almacenamiento de energía térmica que incluye un fluido de almacenamiento de energía térmica, y una turbina (16) de vapor multietapa para impulsar un generador eléctrico (G) por expansión a través de una etapa de alta presión (HP), una etapa de presión Intermedia (IP) y una etapa de baja presión (LP) para producir energía eléctrica, en donde el sistema de energía termosolar tiene:
60 un primer modo operativo en donde vapor es generado por el generador (12) de vapor con receptor solar; y
un segundo modo operativo en donde se genera vapor recuperando energía térmica almacenada del fluido de almacenamiento de energía térmica;
65 en donde el método operativo comprende suministrar el vapor generado durante el primer modo operativo a la disposición (14) de almacenamiento de energía térmica para calentar el fluido de almacenamiento de energía térmica y a una entrada (18) de turbina de alta presión de la turbina

- (16) de vapor multietapa para impulsar la turbina (16) de vapor por expansión a través de una etapa de alta presión (HP), una etapa de presión Intermedia (IP) y una etapa de baja presión (LP); y
- 5 en donde el método operativo comprende inyectar el vapor de almacenamiento generado durante el segundo modo operativo en la turbina (16) de vapor de alta presión en una etapa de turbina aguas abajo de la entrada (18) de la turbina de alta presión en la que la presión del vapor generado mediante la recuperación de la energía térmica almacenada supera la presión presente en la etapa de turbina aguas abajo de la entrada (18) de turbina de alta presión
- 10 durante el primer modo operativo aumentando por tanto, el caudal másico a través de la turbina en comparación con el caudal másico durante el primer modo operativo.
10. Método operativo según la reivindicación 9, en donde la entrada (18) de turbina de alta presión se proporciona en una región de entrada de una etapa de alta presión (HP) de la turbina (16) de vapor multietapa.
- 15 11. Método de funcionamiento según la reivindicación 9, en donde el método de funcionamiento comprende inyectar vapor a menor presión y menor temperatura generado durante el segundo modo operativo en la etapa de presión intermedia (IP) para impulsar la turbina de vapor.
- 20 12. Método de funcionamiento según la reivindicación 10, en donde la etapa de alta presión (HP) incluye una primera sección y una segunda sección aguas abajo de la primera sección, y el método de funcionamiento comprende inyectar el vapor, a la presión de descarga de almacenamiento y a la temperatura de descarga de almacenamiento, generado durante el segundo modo operativo en la segunda sección de la etapa de alta presión (HP).
- 25 13. Método de funcionamiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, que comprende además:
- 30 (a) suministrar una parte del vapor a menor presión y menor temperatura a la entrada (18) de turbina de alta presión durante el segundo modo operativo para actuar como un flujo de enfriamiento para la región de alta presión de la turbina (16) de vapor y calentar el flujo de enfriamiento de vapor antes de la inyección en la entrada (18) de turbina de alta presión; o
- (b) mantener la región de alta presión de la turbina (16) de vapor a una presión baja durante el segundo modo operativo; o
- 35 (c) desacoplar la región de alta presión de la turbina (16) de vapor durante el segundo modo operativo para evitar su rotación.

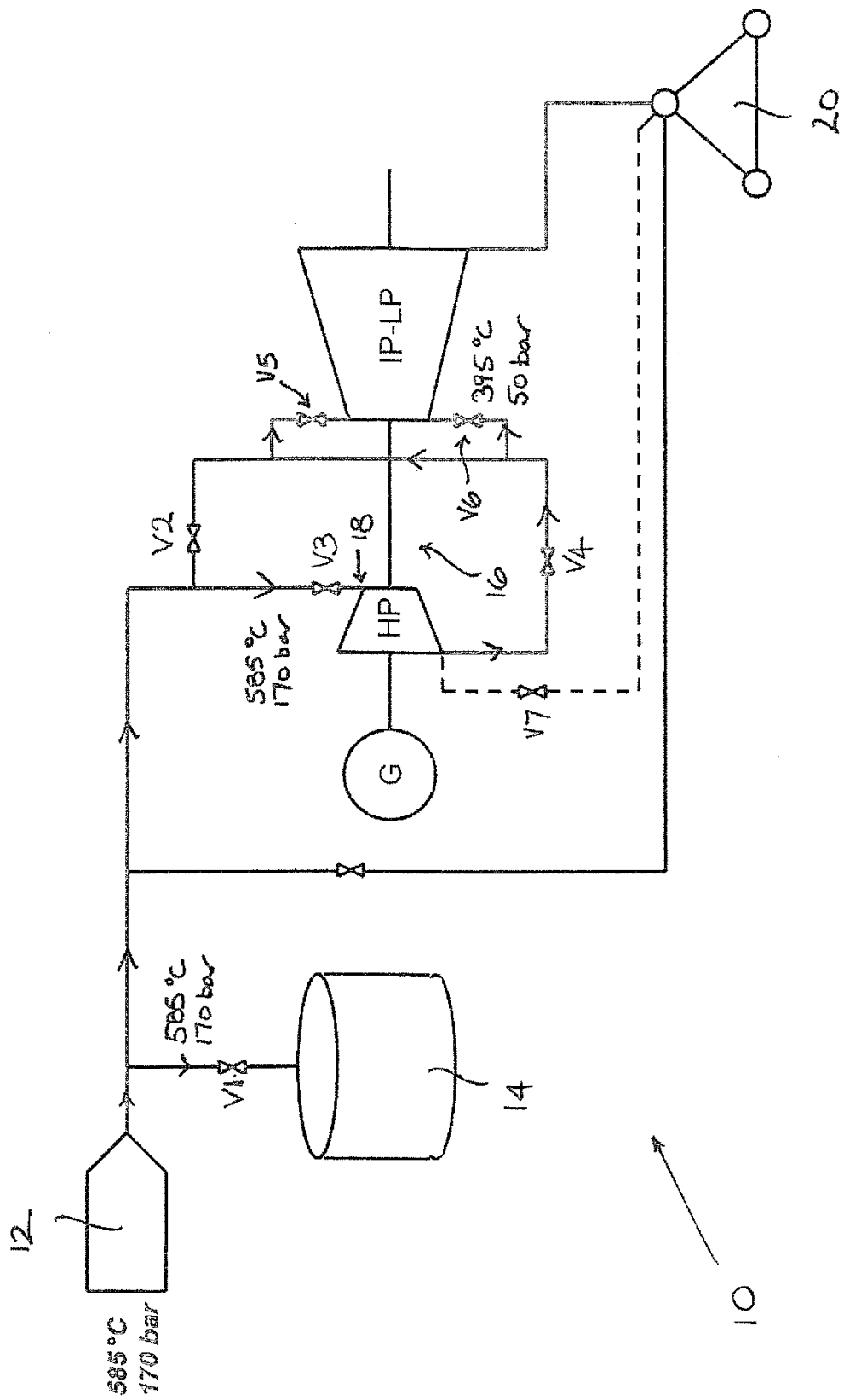


Fig. 1

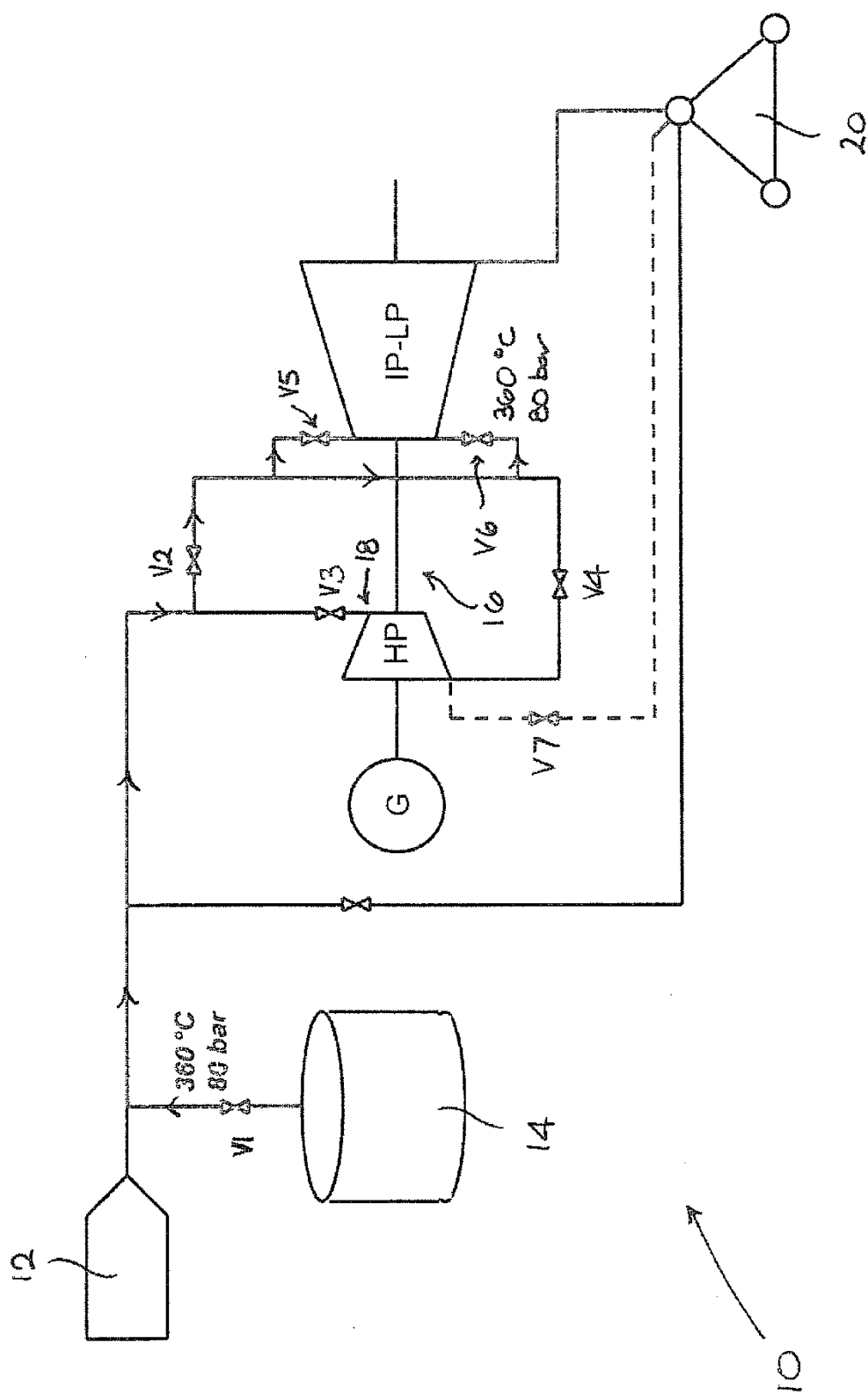


Fig. 2

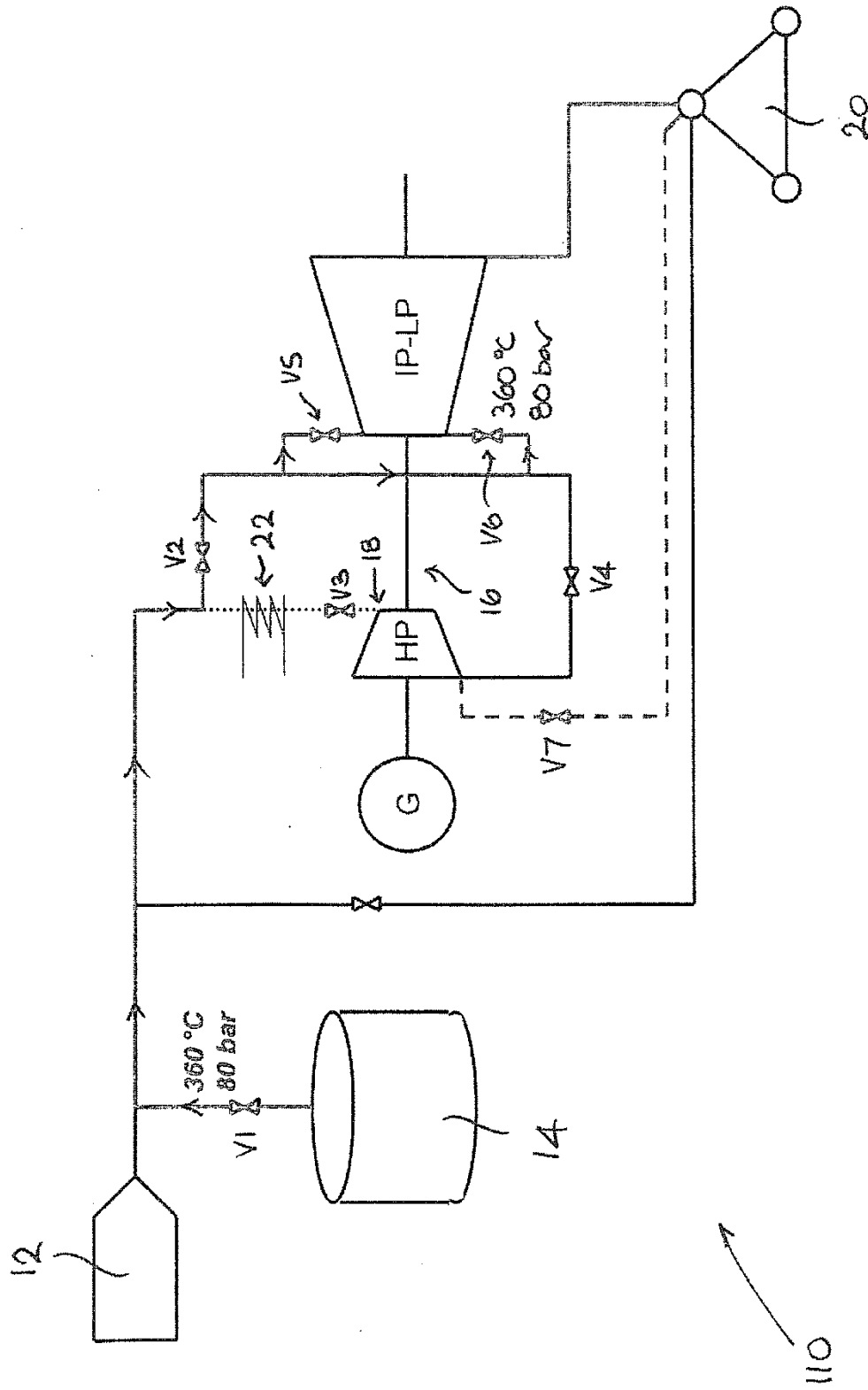


FIG. 3

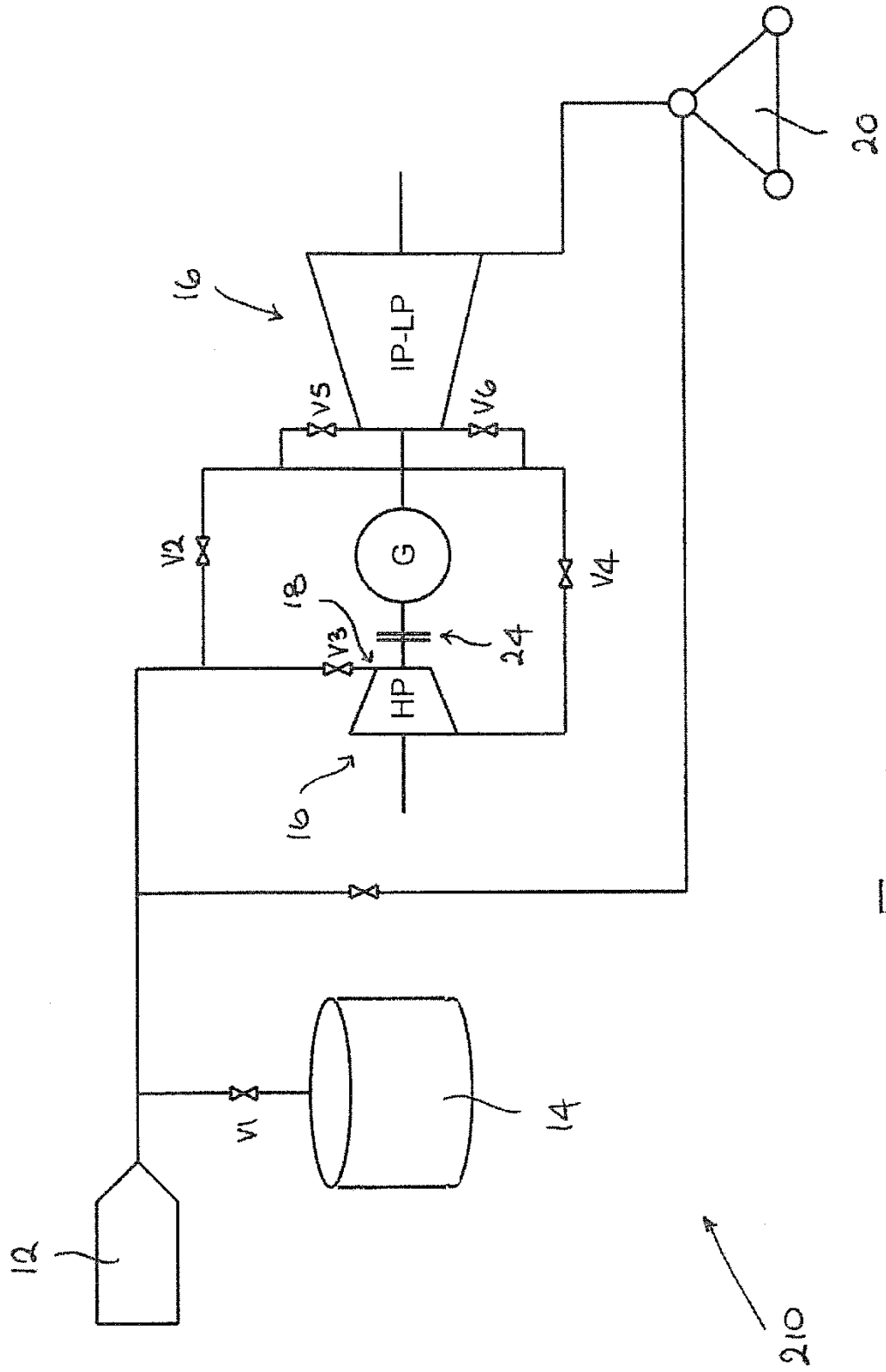


FIG. 4