

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 625 404**

51 Int. Cl.:

F28D 15/02 (2006.01)

F28D 15/04 (2006.01)

F28D 15/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.08.2014** **E 14180917 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.03.2017** **EP 2985556**

54 Título: **Bucle de transferencia de calor de dos fases de control avanzado**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.07.2017

73 Titular/es:

IBÉRICA DEL ESPACIO, S.A. (100.0%)
C/Magallanes, 3, 4th Floor
28015 Madrid, ES

72 Inventor/es:

MISHKINIS, DONATAS y
TORRES SEPÚLVEDA, ALEJANDRO

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 625 404 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

Bucle de transferencia de calor de dos fases de control avanzado

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un aparato y método de transferencia de calor y control térmico, en particular para uso para enfriamiento de equipo electrónico, y más en concreto la invención se dirige a un aparato de transferencia de calor y control térmico avanzado con aplicación de bucle de transferencia de calor de dos fases para gestión térmica de la electrónica de naves espaciales. La invención se dirige, en particular, a un aparato de bucle de transferencia de calor de control avanzado según el preámbulo de la reivindicación 1. Tal aparato se conoce por US 7.061.446 B1.

15 Antecedentes de la invención

Los componentes y los subsistemas de equipo electrónico tal como microprocesadores, microcontroladores, transformadores, filtros, semiconductores, transistores, amplificadores, multiplexores, circuitos integrados, etc, deben operar en rangos de temperatura restringidos. Se hace referencia específicamente a electrónica de naves espaciales. Esto hace que el control térmico sea una materia clave en el diseño y la operación de una nave espacial con un impacto significativo en el peso, la potencia y el costo del presupuesto general de una nave espacial.

El control térmico de una nave espacial se basa en el balance térmico global de la nave espacial: las cargas de calor deben ser evacuadas al espacio profundo, que actúa como un sumidero térmico. Dado que no existe conexión material entre este sumidero y la nave espacial, esta evacuación se realiza por radiación térmica a través de radiadores dedicados instalados sobre las superficies externas del satélite.

Las cargas térmicas de la nave espacial provienen de la disipación de los equipos internos de la nave espacial y, externamente, del sol y la tierra o de los cuerpos celestes alrededor de los cuales orbita la nave espacial. Los sistemas térmicos usados en naves espaciales por lo tanto deben ser capaces de controlar equipos que operan en un rango específico de temperaturas y también de forma discontinua.

Actualmente, los dispositivos térmicos conocidos para controlar las cargas térmicas en naves espaciales son los bucles de transferencia de calor bifásicos (HTL) que también son conocidos en la práctica de la ingeniería como bucles de accionamiento capilar o bombeados mecánicamente o bucles de calor. La finalidad de estos dispositivos en una nave espacial es transferir calor entre una fuente de calor (elemento electrónico) y un sumidero de calor (típicamente, el espacio). En HTLs bifásicos, el calor es transferido a través de un ciclo de evaporación-condensación de un fluido operativo mantenido dentro de un contenedor herméticamente sellado.

Un HTL bifásico está lleno de fluido operativo, que se denomina portador de calor. Durante la operación nominal del HTL bifásico, siempre están presentes en el circuito dos fases de este portador de calor, vapor y líquido.

Los HTLs bifásicos conocidos incluyen en general al menos seis elementos: un evaporador, una bomba, una línea de transporte de vapor, un condensador, una línea de transporte de líquido y una cámara de compensación. El calor aplicado al evaporador procedente del equipo electrónico se usa para transformación del fluido operativo de fase líquido a vapor. El vapor pasa al condensador en la línea de transporte de vapor. El calor acumulado en la fase vapor es disipado en el condensador por condensación. El líquido liberado es transmitido de nuevo al evaporador a través de la línea de transporte de líquido por la bomba. La cámara de compensación puede estar instalada en posiciones diferentes del bucle y proporciona la capacidad del bucle de operar en diferentes escenarios medioambientales y operativos: para garantizar una cantidad suficiente de fluido para circulación en condiciones frías y para acumular el exceso de líquido debido al efecto de expansión térmica en condiciones calientes.

Puede usarse diferentes mecanismos para el bombeo de fluido en el HTL. Los bucles de accionamiento capilar usan el efecto de aspiración capilar para esta finalidad y tienen una estructura porosa especial, llamada bomba capilar o mecha, que sirve para circulación continua del fluido operativo en el sistema. La mecha siempre está situada en el evaporador. El evaporador está montado en una fuente de calor.

Dicha tecnología de bucle de accionamiento capilar ha hallado una amplia aplicación para sistemas térmicos de control en muchas aplicaciones de naves espaciales, que generalmente usan bucles con un sólo evaporador. Sin embargo, muchas aplicaciones requieren el control térmico de grandes cargas útiles de contacto superficial térmico o de múltiples fuentes de calor ubicadas a distancia.

Los desarrolladores de diseños de evaporadores múltiples y de condensadores múltiples de bucles de accionamiento capilar, (conocidos en la práctica de la ingeniería como caloductos en bucle (LHP), bucles de bombeo capilar (CPL) y bucles de calor bifásicos híbridos), tienen la intención de crear sistemas de control térmico con las siguientes características: plan funcional optimizado, escalabilidad, expansibilidad, compartición de las cargas térmicas efectivas, flexibilidad en la ubicación de los componentes, acoplamiento térmico entre radiadores

independientes y masa y volumen minimizados.

La tecnología LHP fue inventada originalmente en la Unión Soviética, y esta tecnología de un aparato de transmisión de calor se conoce, por ejemplo, por US 4515209. Más tarde, se introdujo un enlace capilar (mecha secundaria) entre el evaporador y la cámara de compensación, para proporcionar suministro de líquido desde la cámara de compensación a la mecha primaria del evaporador en condiciones de gravedad cero.

El desarrollo y las pruebas de un LHP con dos evaporadores idénticos se realizó por primera vez por el Instituto de Física Térmica (Academia Rusa de las Ciencias) a mediados de los años 80. Desarrollos adicionales hacia un sistema LHP multi-evaporador, como muestra, por ejemplo, la patente soviética 1395927, se realizaron utilizando un LHP con dos evaporadores y dos condensadores. Los LHPs con dos evaporadores pueden operar eficientemente a distribuciones simétricas y no simétricas de carga térmica entre los evaporadores, y a temperaturas diferentes de enfriamiento del condensador o condensadores. Sin embargo, apagar el enfriamiento activo de un condensador traería como resultado un descenso abrupto de la capacidad máxima de transmisión del dispositivo.

Cada evaporador en un sistema LHP típico tiene su propia cámara de compensación, que puede ser conectada directamente a las cámaras de compensación de otros evaporadores o puede no tener ninguna conexión directa con las cámaras de compensación de otros evaporadores en el sistema. En estos dispositivos, los evaporadores están conectados rígidamente entre sí y están ubicados a distancias relativamente cercanas entre sí.

A pesar de las ventajas evidentes de los sistemas LHP con múltiples evaporadores diseñados para funcionar en una amplia gama de temperaturas, existe una limitación en el número de evaporadores que se pueden usar razonablemente, ya que cada evaporador comprende una cámara de compensación. Conforme desciende la temperatura mínima de funcionamiento, el volumen de la cámara de compensación aumenta rápidamente cuando aumenta el número de evaporadores. Esto implica un límite en el número de evaporadores que se pueden usar en estos sistemas. Es prácticamente imposible crear un sistema LHP con más de tres evaporadores.

Además, pueden surgir ciertos problemas con el control de temperatura en sistemas LHP con múltiples evaporadores: los componentes clave para el control de temperatura LHP son las cámaras de compensación. En una instalación de dos evaporadores, el LHP puede funcionar a la temperatura deseada en la mayoría de los casos, ya que el LHP responde muy bien a cambios bruscos en la carga térmica, la temperatura de sumidero y la temperatura de punto de consigna. Sin embargo, sólo una de las cámaras de compensación tiene una condición bifásica de vapor-líquido durante el funcionamiento, independientemente de cuántos estén bajo control de temperatura.

El calor, que pasó por conducción térmica a través de la pared de la bomba capilar a la parte central del evaporador, en la dirección opuesta a la dirección de circulación del fluido, normalmente se denomina fuga de calor parásita. Los resultados de las pruebas han demostrado que cuando uno de los evaporadores tiene una carga térmica muy baja, se observa una generación de vapor repentina sobre la superficie interior de la bomba capilar, que aumenta drásticamente la fuga de calor parásita a la cámara de compensación, lo que trae como resultado una temperatura de funcionamiento más alta del bucle. Esto causa un problema de control de histéresis para el bucle que es difícil de predecir o de evitar. También se constató que las situaciones en las que el líquido se distribuye entre las cámaras de compensación (intentando ocupar los puntos de presión más bajos) pueden llevar al funcionamiento inestable del sistema. Además, surge un problema de controlabilidad para sistemas LHP con múltiples evaporadores cuando aumenta la cantidad de evaporadores y de cámaras de compensación.

Por lo tanto, es posible concluir que la limitación de expansibilidad es el problema principal en sistemas LHP con múltiples evaporadores, según se muestra en la patente soviética 1395927, de modo que se usan dos evaporadores o sólo tres evaporadores como mucho para rangos de temperatura estrechos. Un problema secundario que presentan estos sistemas es la escasa controlabilidad.

Otro tipo de bucle de accionamiento capilar es el CPL, como por ejemplo en los documentos de patente US 6626231 y US 7118076, que típicamente comprende uno o más evaporadores, uno o más condensadores, líneas de transporte, una cámara de compensación remota y un subenfriador. La ubicación de la cámara de compensación es la principal característica diferenciadora entre los diseños CPL y LHP. Una cámara de compensación LHP (o cámaras para diseño de LHP con evaporadores múltiples) siempre está conectada directamente al evaporador, pero el CPL siempre tiene una cámara de compensación remota (también denominada depósito de líquido), separada del evaporador (o evaporadores para un diseño de CPL de evaporadores múltiples) por un tubo o tubos conectores de pequeño diámetro (2,5 mm). Como regla en CPL, el líquido del condensador y de la cámara de compensación remota fluye a través del subenfriador antes de llegar a los evaporadores. A diferencia de LHP, el CPL tiene una capacidad reducida de autoarranque sin preacondicionamiento especial. Además, para cualquier CPL, la tolerancia para la fuga de calor parásita de vapor es un problema significativo de operabilidad fiable del sistema. El crecimiento de una burbuja de vapor sobre la superficie interior de la bomba capilar conduce al secado de la bomba y, finalmente, al fallo del funcionamiento del CPL. En el caso del LHP, la burbuja normalmente migra a la cámara de compensación (en cuanto está fijada cerca del evaporador) y se condensa en líquido sub-enfriado que siempre se presenta en la cámara de compensación del LHP.

En las últimas décadas se han realizado continuas mejoras en los CPLs. El evaporador de dos puertos (una entrada de líquidos y una salida de vapor) inicialmente usado en CPLs generalmente sufría desecamiento debido a la aparición de vapor en el núcleo líquido durante el arranque y regímenes transitorios. Para impedir que el vapor bloquee el retorno del líquido a la estructura de la mecha, se introdujo un evaporador capilar de tres puertos, en el sistema que conecta la línea del depósito remoto al núcleo líquido del evaporador. Esta configuración permite que el vapor se expanda a lo largo del núcleo del evaporador y que migre hacia dentro del depósito remoto, en vez de acumularse en el núcleo de evaporador e interferir con el líquido que retorna desde el condensador. Inicialmente, las bombas capilares de tres puertos se usaron como bombas de arranque, y luego como el diseño del evaporador funcional principal. Para impedir que el vapor de los evaporadores descebados fluya aguas arriba y bloquee el retorno de líquido a los evaporadores en funcionamiento, se introdujo un dispositivo capilar, denominado aislador capilar, ubicado aguas arriba de la entrada al evaporador. También se instalaron reguladores de contra-presión en muchos CPLs de múltiples evaporadores para ayudar durante el arranque. Estos dispositivos capilares, ubicados en la línea de transporte de vapor, redirigen el vapor inicialmente generado en un evaporador a los otros evaporadores que no están en funcionamiento (sin carga térmica). Esta acción obliga a salir el líquido de las líneas de vapor y mejora las posibilidades de un arranque exitoso de todos los evaporadores en el sistema: también ayuda a fomentar el compartir las cargas térmicas entre evaporadores, por ejemplo, cuando un evaporador inactivo actúa como condensador.

Las siguientes conclusiones resumen los asuntos relacionados con la fiabilidad de los CPLs:

- El diseño del CPL no debe nunca permitir la formación de burbujas en el lado líquido del bucle, pero es bastante difícil evitar por completo tal escenario operacional en HTLs reales;
- El CPL requiere un evaporador de arranque para limpiar los conductos de vapor en los evaporadores principales antes de que se les aplique calor;
- Reducir el diámetro de los elementos del evaporador CPL conduce a muchas dificultades no esperadas: el diseño con paredes de bomba capilar más delgadas conduce a una probabilidad más alta de formación de burbujas de vapor dentro del núcleo líquido del evaporador y como consecuencia al fallo del funcionamiento del CPL;
- Es conocido en la técnica anterior que para mejorar la tolerancia de los evaporadores a las fugas de calor parásitas de vapor, es preferible conectar estos evaporadores en serie; en este caso el primer evaporador en serie puede crear un flujo de barrido para los evaporadores siguientes.

Otra solución implica instalar varios evaporadores en paralelo con conexión a la misma cámara de compensación, situada en la parte evaporadora del bucle, y que incluye enlaces capilares especiales de gran longitud entre los evaporadores y la cámara de compensación. Este sistema se conoce como LHP CPL de situación libre, tal y como se muestra, por ejemplo, en el documento de patente US 5944092, en la patente soviética 1626798 o en la patente rusa 2120592. Este sistema superó con éxito las pruebas en campo con un incremento gravitatorio favorable de los evaporadores en relación con la cámara de compensación, facilitando así que los enlaces capilares distribuyeran el fluido a todos los evaporadores. La restricción de orientación en el campo gravitatorio se debe a los límites impuestos por el enlace capilar. El enlace capilar que conecta los evaporadores y la cámara de compensación limita la distancia de separación entre los evaporadores y la cámara de compensación. Esta limitación es parecida a la que ya existe en tuberías térmicas convencionales. Otras limitaciones significativas de este diseño son la complejidad y las dificultades de integración que dan lugar a problemas de expansibilidad, escalabilidad y estandarización de las piezas. Todos los evaporadores tendrán que estar por debajo o en el mismo plano con respecto al plano de la cámara de compensación. Dado que la tubería de conexión entre cada evaporador y la cámara de compensación contiene un enlace capilar en el interior, el diámetro interno del tubo suele ser mayor de 4 mm (es prácticamente imposible instalar una estructura capilar curvable en una tubería con un diámetro más pequeño). Las tuberías de conexión de gran diámetro hacen que el sistema sea inflexible y que sean necesarios elevados requerimientos para las tolerancias con fines de integración. En el diseño habitual de un evaporador de LHP con un tubo de bayoneta, un enlace capilar (mecha secundaria) suministra el líquido a la bomba capilar primaria prácticamente sólo durante regímenes transitorios. Sin embargo, en este diseño, el enlace capilar suministra toda la cantidad de líquido que hace falta para el evaporador, lo que ocasiona limitaciones significativas de las tasas de cambio de la potencia de la fuente de calor y/o de la temperatura del sumidero de calor. Otra desventaja de este enfoque es la baja conductancia térmica de los evaporadores a causa de la presencia constante de la fase de vapor en el núcleo del evaporador.

Un intento de superar algunas de estas importantes desventajas dio lugar al denominado LHP CPL multifibras) conocido, por ejemplo, por el documento US 5944092, en el que los evaporadores funcionales no tienen un enlace capilar con la cámara de compensación, sino sólo con la línea de líquido. Las limitaciones de este diseño son parecidas a las de los CPLs convencionales con bombas de arranque. Los evaporadores capilares unidos a la línea de líquido no pueden proporcionar una tolerancia de vapor fiable y, por tanto, la desventaja de este diseño es la necesidad de un evaporador adicional especial con una fuente de potencia específica para proporcionar la circulación del bucle.

Se han realizado otros diseños desarrollando el denominado LHP híbrido multievaporadores, que muestran, por ejemplo, los documentos de patente US 7661464, US 6889754, US 7004240, US 8047268, US 7549461, US 8109325, US 8066055, US 8047268 o US 7251889, sugiriendo que un enlace entre los evaporadores y la cámara de compensación podría ser un bucle e incorporaron esta idea al llamado CPL avanzado, para intentar incorporar las ventajas de un LHP robusto con la flexibilidad arquitectónica de un CPL. Este sistema comprende dos bucles de funcionamiento relativamente independiente: un bucle principal y un bucle auxiliar. El bucle principal es básicamente un CPL tradicional con la misma configuración y principios de funcionamiento que un CPL, cuya función consiste en transportar el calor disipado y rechazarlo a un sumidero de calor a través del condensador primario. El bucle auxiliar se emplea para retirar las burbujas de vapor del núcleo de los evaporadores de los CPL y trasladarlas a la cámara de compensación. El bucle auxiliar sólo contiene un evaporador de tipo LHP con la cámara de compensación de gran tamaño unida. Sólo existe una cámara que es común a todos los evaporadores: los evaporadores de los CPL en el bucle principal y el evaporador del LHP en el bucle auxiliar. Además, el bucle auxiliar también se emplea para facilitar el proceso de arranque. De este modo, el bucle auxiliar sirve de sustituto funcional de la mecha secundaria de un LHP convencional. La viabilidad de este diseño, no obstante, sólo se alcanza al conectar los evaporadores en serie. Esto significa que en consecuencia el líquido tiene que pasar por los evaporadores: el flujo que sale del primer evaporador entra en el segundo, etc.

En principio, el LHP híbrido multievaporador incluía tres evaporadores, uno de los cuales era un evaporador de LHP estándar unido directamente a la cámara de compensación del sistema común, así como dos evaporadores CPL tradicionales de tres puertos. Las pruebas mostraron que el sistema no era muy fiable durante los ciclos de potencia. La sensibilidad al ciclo de potencia se atribuyó a la expansión de burbujas de vapor en el núcleo del evaporador. La conducción de calor a través de la pared de la bomba capilar del evaporador facilitó la nucleación del vapor en el núcleo del evaporador. En el caso de operación en estado de régimen, estas burbujas se arrastraron desde el núcleo de evaporadores funcionales mediante el flujo del líquido a la bomba capilar. Sin embargo, a medida que disminuía la potencia de entrada de los evaporadores funcionales, el movimiento de líquido forzado por la acción capilar en el evaporador auxiliar no resultaba suficiente para retirar de forma eficaz todas las burbujas de vapor del núcleo del evaporador y así evitar el bloqueo con vapor de la bomba capilar (deseccación) tras un aumento repentino de la potencia del evaporador. Por otra parte, una reducción repentina de potencia causa una ruptura temporal del flujo de fluido en el condensador hasta que se establece un nuevo equilibrio de temperatura/presión en el sistema. Esta ruptura del flujo hace necesario un desplazamiento másico neto del flujo desde el evaporador y la cámara de compensación al condensador. En consecuencia, el flujo nominal en dirección hacia delante se interrumpió. Durante la situación de flujo inverso se podían acumular o incluso expandir las burbujas de vapor en el núcleo de la bomba capilar del evaporador, causando así la desecación del evaporador y el fallo del sistema.

Para mejorar la tolerancia al vapor, el diseño interno de los evaporadores se modificó para incluir una mecha especial de separación de fases, diseñada para proporcionar un mejor control de la distribución de las dos fases vapor/líquido en el núcleo de las bombas. El objetivo de las modificaciones del diseño era extender el control de las fases que proporcionaba la mecha secundaria en el evaporador tradicional LHP a los evaporadores de CPL. A pesar de los resultados favorables generales obtenidos durante las pruebas, el funcionamiento se verificó en condiciones relativamente limitadas: los evaporadores estaban en general en orientación horizontal y cercanos los unos a los otros, así que la resistencia hidráulica de las líneas era parecida. Esta configuración, por tanto, no era representativa de las condiciones de las posibles aplicaciones de control térmico en naves espaciales cuando los evaporadores y el depósito remoto se encuentran separados espacialmente, y el nivel de respuesta de los evaporadores a las variaciones de potencia de entrada y de las condiciones del sumidero de calor dependen de la longitud de las líneas de conexión entre estos elementos. Por tanto, no se comprobó adecuadamente la capacidad de control térmico.

En la técnica anterior también se conocen las tecnologías de bucles híbridos de refrigeración, como por ejemplo las que se muestran en los documentos de patente US6990816 y US6948556, que combinan el bombeo activo de líquidos y la gestión pasiva capilar de líquidos en la estructura de la mecha del evaporador y su separación líquido/vapor. El bucle híbrido de refrigeración consiste en un evaporador, un condensador, una cámara de compensación de líquidos y una bomba, en su diseño más simple. Debido al sistema de bombeo de amplificación activo, el sistema de bucle híbrido sería capaz de gestionar distintos diseños de evaporadores múltiples. A pesar de contar con ciertas ventajas, la necesidad de contar con un medio de circulación suplementario por el bucle se puede considerar una desventaja por la naturaleza activa de los componentes críticos de diseño, lo que reduce la fiabilidad y la vida útil del sistema.

Otro sistema conocido desarrollado es el denominado LHP avanzado, que es un LHP con dos evaporadores: el evaporador principal (funcional) y el evaporador secundario (auxiliar), según el documento de patente US6810946 B2, por ejemplo, que incorpora un evaporador secundario al diseño convencional del LHP. El evaporador secundario se encuentra en un entorno con incremento de frío para asegurar que la bomba capilar siempre esté cebada. Se conectan calentadores eléctricos a este evaporador para proporcionar la potencia térmica necesaria para su funcionamiento. Cuando la bomba secundaria se encuentra en operación, ésta retira de forma activa el vapor que se acumula en la cámara de compensación a causa de las fugas parásitas de calor a la cámara de compensación del evaporador principal y a la línea de líquido. Este diseño sólo considera un único evaporador LHP principal. La mayor desventaja de este planteamiento es la existencia del evaporador adicional y su naturaleza activa. De hecho, esta

solución se necesita para un LHP con una bomba secundaria no diseñada correctamente.

Además, se propuso usar un evaporador con cámara de compensación adjunta en un bucle de accionamiento capilar, conocido por ejemplo en los documentos de patente US7061446, US7268744 o US7841392. La mecha capilar indivisa grande se usa en la parte del evaporador y en la cámara de compensación. La mecha tiene mayor tamaño transversal en la cámara de compensación que en la parte del evaporador. No existen medios para garantizar la tolerancia de vapor de los evaporadores.

Por lo tanto, como resumen, es posible concluir que el elemento principal y más crítico en un bucle de accionamiento capilar es el evaporador. La intolerancia a la fuga de calor parásita de vapor, que puede conducir a fallo total del sistema en transmisión de calor, es el principal problema en el desarrollo de sistemas de control térmico bifásicos multi-evaporador de accionamiento capilar. Se han propuesto e investigado varios métodos para solventar el problema; sin embargo, las soluciones técnicas existentes aún no pueden garantizar un comportamiento estable y fiable en condiciones térmicas reales diferentes del funcionamiento de naves espaciales.

Esta invención por lo tanto esta orientada hacia estas necesidades.

Resumen de la invención

Por lo tanto, la presente invención proporciona un sistema y método de transferencia de calor y control térmico, en particular, un bucle de transferencia de calor de control avanzado bifásico movido mecánica o capilarmente (ACHTL).

Un objeto de la invención es proporcionar un ACHTL bifásico movido de forma mecánica o capilar que tiene un funcionamiento fiable y alto rendimiento en un amplio rango de condiciones operativas con mínima fuga parásita de calor, proporcionando al mismo tiempo un medio de tolerancia de fuga de calor parásita de vapor para cada evaporador y flexibilidad de diseño por implementación de una cámara de compensación remota y control avanzado de la temperatura de esta cámara.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sistema ACHTL bifásico movido de forma mecánica o capilar que puede ser expandido, es decir, que puede variar el número de sus evaporadores y/o sus condensadores.

Así, la fiabilidad y la expansibilidad son objetos principales. Otros objetos del sistema bifásico LHP de accionamiento mecánico o capilar de la invención son los siguientes:

- escalabilidad: el tamaño de los evaporadores (tanto el diámetro como la longitud) puede variar en un amplio rango y puede ser ajustado en función de la aplicación particular que se necesite;

- controlabilidad: posibilidad de controlar la temperatura de operación del sistema por medio del control térmico de la cámara de compensación remota;

- capacidad de reparto de carga térmica cuando el sistema ACHTL comprenda múltiples evaporadores: los rangos de potencia pueden ser diferentes de un evaporador a otro, de manera que algunos evaporadores pueden tener la carga térmica máxima mientras que otros tienen una aplicación de potencia mínima o nula;

- flexibilidad de configuración: en teoría se puede usar un número ilimitado de evaporadores/condensadores; la distancia entre los evaporadores y la cámara de compensación puede ser de hasta varios metros; los evaporadores, condensadores y la cámara remota de compensación pueden encontrarse en un campo de gravedad a distintos niveles con diferencias de elevación de hasta 3 m, considerando sólo el potencial capilar de las bombas secundarias de los evaporadores;

- flexibilidad funcional: existe un amplio rango de potencias de aportación de calor para el sistema completo y para cada evaporador; se produce resistencia a cambios repentinos de aportaciones de potencia y/o temperaturas del condensador;

- flexibilidad de integración: el pequeño diámetro (1-3 mm) de las tuberías que conectan los evaporadores a la cámara remota de compensación facilita la instalación del sistema al nivel del satélite; además, se pueden emplear insertos flexibles, tales como serpentines y/o latigullos flexibles para mejorar la integración del sistema;

- normalización de los evaporadores: posibilidad de emplear cámaras de compensación unidas a los evaporadores, con dimensiones normalizadas y sin necesidad de realizar la recualificación de los evaporadores para todas las configuraciones y tamaños del sistema; esto resulta de especial importancia para mejorar la viabilidad mecánica del HTL bifásico durante las vibraciones, ya que todos los evaporadores del sistema cuentan con una cámara de compensación individual normalizada relativamente pequeña y se pueden diseñar mecánicamente y cualificar individualmente sólo una vez.

Estos objetos se logran con un sistema ACHTL incluyendo las características de la reivindicación 1. Realizaciones preferidas del sistema de la invención se reivindican en las reivindicaciones 2 a 8.

5 Los objetos anteriores se logran además con un método incluyendo las características de la reivindicación 9. Formas preferidas de llevar a la práctica el método de la invención se reivindican en las reivindicaciones 10 a 12.

10 El sistema efectúa aplicaciones de transferencia de calor y control térmico con un fluido bifásico como un medio de trabajo. El sistema de la invención incluye al menos un evaporador, incluyendo una bomba capilar primaria, al menos una cámara de estabilización-compensación térmica y montada en el evaporador, al menos un condensador, líneas de líquido y vapor, una sola cámara de compensación remota, sensores de temperatura instalados en todas las cámaras de compensación del sistema, al menos un elemento de calentamiento instalado en la cámara de compensación remota, y un controlador. La bomba capilar primaria del evaporador sirve para absorber calor del equipo, que tiene que ser enfriado, y para proporcionar circulación continua de fluido/calor entre el evaporador, que está conectado a la fuente de calor, y el condensador, que está conectado al sumidero de calor. Una bomba capilar secundaria está situada dentro de la mecha de la bomba capilar primaria y dentro de la cámara de estabilización-compensación térmica y sirve para distribuir y suministrar líquido a la mecha de la bomba capilar primaria, para proporcionar circulación intermitente de fluido/calor en regímenes de operación transitorios del sistema, incluyendo sacar fuga de calor bifásico interno a través de una bomba capilar primaria por convección y condensación de las burbujas generadas en la pared interior de la mecha de la bomba capilar primaria.

20 La tolerancia del sistema ACHTL a la fuga parásita de calor debido a la formación de burbujas de vapor en el núcleo central de mecha de la bomba capilar primaria en regímenes transitorios y la ausencia de las burbujas en regímenes de operación de estado de régimen está asegurada por un método de control avanzado de la temperatura. El esquema de control consta de controlador, sensores de temperatura y calentador en la cámara de compensación remota. El controlador gestiona el calentamiento de la cámara de compensación remota de tal forma que la temperatura de la cámara de compensación remota siempre sea superior a la temperatura de cualquiera de las cámaras de estabilización-compensación térmica.

30 Otras características y ventajas de la presente invención se describirán en la descripción detallada siguiente de realizaciones ilustrativas de su objeto en relación a las figuras adjuntas.

Descripción de los dibujos

35 Las características, objetos y ventajas de la invención serán evidentes por la lectura de esta descripción en unión con los dibujos acompañantes, en los que:

Las figuras 1a y 1b muestran vistas esquemáticas del dispositivo ACHTL de la invención que tiene una cámara de compensación remota y dos evaporadores.

40 La figura 2 representa una sección transversal del evaporador ACHTL.

Las figuras 3a y 4a muestran un diagrama de presión-temperatura de un ciclo termodinámico ACHTL que ilustra el principio principal de la operación de ACHTL.

45 Las figuras 3b y 4b muestran esquemas de ACHTL que corresponden a diagramas de presión-temperatura representados en las figuras 3a y 4a.

Descripción detallada de la invención

50 La presente invención se ilustra por las figuras 1a, 1b, 2. Cuando se suministra un flujo de entrada de calor 11 a un evaporador 2 a través de un asiento de evaporador 9 por un equipo de liberación de calor o una fuente de calor, el calor evapora el líquido de trabajo. El asiento 9 se hace de material altamente conductor térmico (por ejemplo, aluminio o cobre) y es necesario para conectar (mecánica y térmicamente) el evaporador 2 que tiene típicamente una forma cilíndrica con la fuente de calor (típicamente, una superficie plana, por ejemplo, un chip electrónico). El vapor fluye desde el evaporador 2 a un condensador 27 a través de una línea de transporte de vapor 23, donde se condensa. Después de ello, el líquido de trabajo vuelve a una cámara de estabilización-compensación 3 y al evaporador 2 a través de una línea de transporte de líquido 24, para evaporarse de nuevo en la superficie externa de una bomba capilar primaria 4 instalada en el evaporador 2.

60 A diferencia de los sistemas LHP ordinarios, el dispositivo ACHTL propuesto 1 de la invención es controlado por una cámara de compensación remota 20, en la que siempre coexisten dos fases. A diferencia de los sistemas CPL ordinarios, la cámara de estabilización-compensación 3 está dispuesta en el ACHTL para cada evaporador 2. La cámara de estabilización-compensación 3 está conectada y montada en el evaporador 2 y conjuntamente con un esquema de control avanzado sirve para el suministro fiable de la bomba capilar primaria 4 con una cantidad suficiente de líquido subenfriado en cualesquiera condiciones operativas, incluso en las transitorias más desfavorables.

5 El dispositivo ACHTL 1 incluye al menos un evaporador 2 (en la figura 1a y 1b dos evaporadores) incluyendo la
 10 bomba capilar primaria 4, al menos una cámara de estabilización-compensación térmica 3, al menos un
 15 condensador 24, líneas de líquido y vapor 22 y 23, una sola cámara de compensación remota 20 incluyendo una
 20 estructura capilar 21, sensores de temperatura 27 instalados en todas las cámaras de compensación 3 y 22 del
 sistema, al menos un elemento de calentamiento 19 instalado en la cámara de compensación remota, y un
 controlador automático 28. La cámara de compensación remota 20 está conectada hidráulicamente con la cámara
 de estabilización-compensación térmica 3 y el condensador 24 a través de una línea de alimentación de líquido 18 y
 una línea de líquido 22. La bomba capilar primaria 4 del evaporador 2 sirve para absorber el calor de la fuente de
 calor 11 (equipo que tiene que ser controlado térmicamente), y para proporcionar circulación continua de fluido/calor
 entre el evaporador 2 conectado con la fuente de calor 11 y el condensador 24, que está montado en un sumidero
 de calor 25. La parte principal del calor absorbido se usa para evaporación de fluido operativo. El vapor liberado
 fluye a través de canales de extracción de calor 6 y luego a través de la línea de vapor 23 hacia el condensador 24
 donde el calor almacenado en la fase vapor es liberado al sumidero de calor 25 por condensación. El flujo de vapor
 13 es producido por gradientes de temperatura y presión correspondientes entre el evaporador 2 y el condensador
 24. Una pequeña parte de la entrada de calor total 11 puede llegar al núcleo central de la mecha de la bomba capilar
 primaria 4. Ésta es una fuga parásita de calor 12 porque este calor degrada el rendimiento de conductancia de HTL
 y tiene que minimizarse. Una bomba capilar secundaria 5 está situada dentro de la mecha de la bomba capilar
 primaria 4 y dentro de la cámara de estabilización-compensación térmica 3 y sirve para distribuir y suministrar a la
 mecha de la bomba capilar primaria 4 líquido para proporcionar circulación intermitente de fluido/calor en regímenes
 de operación transitorios del ACHTL, incluyendo la extracción de fugas parásitas de calor interno 12 a través de
 canales de extracción de burbujas de vapor 8 de la bomba capilar primaria 4 por convección y condensación de las
 burbujas 10 generadas en la pared interior de la bomba 4.

25 La tolerancia del sistema ACHTL 1 a burbujas de vapor 10 que aparecen en el núcleo central de la mecha de la
 bomba capilar primaria 4 en regímenes transitorios y la ausencia de dichas burbujas en regímenes de operación de
 estado de régimen del ACHTL está asegurada por la presencia de la cámara o cámaras de estabilización
 30 compensación 3 conjuntamente con un método de control avanzado de la temperatura. La fuga parásita de calor es
 mínima si la ebullición (y el flujo de burbujas 10, correspondiente a este proceso) no tiene lugar dentro de la bomba
 capilar primaria 4. En esta situación, ACHTL tiene máximo rendimiento. Significa que solamente se presenta fase
 líquido 15 en el núcleo central de la bomba capilar primaria 4, en la bomba capilar secundaria 5 y en la cámara de
 estabilización-compensación térmica 3 en modo de estado de régimen de la operación del dispositivo ACHTL 1. Sin
 embargo, en regímenes transitorios cuando la potencia o/y la temperatura de la entrada de calor 11 del sumidero de
 calor 25 cambian rápidamente, a menudo es imposible evitar la generación de burbujas 10. Entonces, las burbujas
 35 10 pasan a la cámara de estabilización - compensación 3 donde se condensan. Esto solamente es posible si esta
 cámara tiene una temperatura suficientemente baja durante todos los modos de operación transitorios de ACHTL. El
 esquema y método de control avanzado garantizan la operación apropiada del sistema en todos los regímenes. El
 esquema de control consta de un controlador 28, sensores de temperatura 27 y un calentador 19 en la cámara de
 compensación remota 20. El controlador 28 controla el calentamiento de la cámara de compensación remota 20 de
 40 tal forma que la temperatura de la cámara de compensación remota T_{RCC} siempre sea superior a la temperatura de
 cualesquiera cámaras de estabilización-compensación térmica T_{SCC} según el algoritmo de control 30.

45 El dispositivo ACHTL 1 de la invención puede ser de realizaciones del tipo de un sólo evaporador-condensador o de
 múltiples evaporadores (y/o condensadores). Para mejorar el rendimiento de ACHTL, puede instalarse una bomba
 31 en la línea de líquido 22, como se representa en la figura 1b. El dispositivo ACHTL 1 de la invención incluye los
 componentes siguientes:

- al menos un evaporador 2;
- 50 - una cámara de compensación remota 20 en una condición bifásica para funciones de control de temperatura y
 para gestionar cambios de volumen de la fase líquido. La presencia de una cámara de compensación remota 20
 proporciona expansibilidad en realizaciones que tienen múltiples evaporadores 2; en ese caso, no se necesitan las
 cámaras de estabilización-compensación 3 que tienen un volumen grande, puesto que pueden tener un volumen
 55 mínimo, suficiente para gestionar y asegurar la tolerancia de burbujas de vapor 10 en regímenes transitorios;
- al menos un condensador 24;
- una línea de vapor 23 y una línea de líquido 22;
- 60 - un esquema de control avanzado incluyendo sensores de temperatura 27 instalados en cada cámara de
 compensación 3, 20, un controlador 28 y un elemento de calentamiento 19 para la cámara de compensación remota
 20.

65 Los números indicados en las figuras 1a-1b, 2 y 3a-3b indican lo siguiente:

- 1 - dispositivo de bucle de transferencia de calor de control avanzado;

- 2 - evaporador;
- 5 3 - cámara de estabilización-compensación térmica;
- 4 - bomba capilar primaria;
- 5 - bomba capilar secundaria;
- 10 6 - canales de extracción de calor fuera de la mecha de la bomba capilar primaria;
- 7 - tubo de bayoneta;
- 15 8 - canales de extracción de burbujas de vapor dentro de la mecha de la bomba capilar primaria;
- 9 - asiento de evaporador;
- 10 - burbujas de vapor en el núcleo central de la mecha de la bomba capilar primaria;
- 20 11 - flujo de entrada de calor;
- 12 - flujo de fuga de calor al núcleo central de la mecha de la bomba capilar primaria;
- 25 13 - dirección de flujo de vapor;
- 14 - dirección de flujo de líquido;
- 15 - líquido;
- 30 16 - vapor;
- 17 - frente de vapor-líquido en la cámara de compensación remota;
- 35 18 - línea de alimentación de líquido a/de la cámara de compensación remota;
- 19 - calentador en la cámara de compensación remota;
- 20 - cámara de compensación remota;
- 40 21 - estructura capilar dentro de la cámara de compensación remota;
- 22 - línea de líquido;
- 45 23 - línea de vapor;
- 24 - asiento de condensador o chapa;
- 25 - sumidero de calor;
- 50 26 - flujo de salida de calor;
- 27 - sensor de temperatura;
- 55 28 - controlador analógico o digital;
- 29 - conductor eléctrico;
- 30 - algoritmo de control
- 60 31 - bomba

La explicación del modelo físico del control avanzado se ilustra en las figuras 3a, 3b y 4a, 4b. Dado que el dispositivo de la invención es un aparato de transferencia de calor de evaporación-condensación, opera en torno a la línea de saturación de vapor-líquido SL. Dos ciclos termodinámicos cerrados de operación de ACHTL se representan en los diagramas de presión (P) - temperatura (T) en las figuras 3a y 4a. Los puntos de 100 a 112 en los diagramas corresponden a algunos estados termodinámicos de fluido operativo en posiciones diferentes del

ACHTL, como se representa en las figuras 3b y 4b. En la posición (100) se evapora líquido de la superficie externa de la mecha de la bomba capilar primaria 4 y fluye a la salida del evaporador 2, recorrido (100-101). En este paso, puede tener lugar un cierto sobrecalentamiento de vapor. Después de eso, fluye vapor a la línea de vapor 23 (recorrido 101-102), manteniéndose la temperatura del vapor en la línea de vapor 3 casi constante (no hay intercambio térmico con el ambiente) aunque la presión de vapor en la línea 23 se reduce. En el condensador 24 (recorrido 102-103-104-105), el vapor se enfría a un estado de saturación (102-103), después se condensa (103-104) y el líquido condensado se subenfria más (104-105). La presión se reduce más en forma de líquido al evaporador 2 (105-106-107) debido a pérdidas de rozamiento en el conducto 22. Bajando por la línea (105-106-107), el líquido puede mantener la temperatura constante, y puede enfriarse o calentarse (como se representa en el diagrama) dependiendo de las condiciones térmicas del entorno de la línea de líquido 22. En la cámara de compensación remota 20, las fases de vapor 16 y líquido 15 siempre se presentan en equilibrio y la temperatura de esta cámara es el punto definitorio de todo el HTL dado que el ciclo completo depende de este punto (110). El flujo en la línea 18 puede presentarse solamente en regímenes transitorios, por lo tanto no hay caída de presión entre los puntos (106) y (110). El líquido subenfriado procedente del condensador 24 se calienta primero en la cámara de estabilización - compensación 3 (107-108) y posteriormente dentro del núcleo central de la mecha de la bomba capilar primaria 4 (108-109) absorbiendo la fuga parásita de calor 12. El líquido pasa la línea de saturación dentro de la mecha (111) pero no puede hervir debido a las condiciones limitadas dentro de los microcapilares de mecha (las fuerzas de tensión superficial evitan el crecimiento de burbujas). Desde el punto (111) a (112) el líquido se supercalienta y la presión se reduce más durante la filtración a través de la estructura porosa (109-111-112). El ciclo se cierra en la interfaz-menisco de vapor-líquido donde tiene lugar evaporación (112-100). El punto (112) corresponde a la fase líquido justo debajo del menisco, correspondiendo el punto (100) a la fase vapor justo encima del menisco.

Como es claro por el diagrama de la figura 3a, un subenfriamiento insuficiente dará lugar a la reducción de la diferencia de temperatura entre los puntos (107) y (112) y finalmente a una situación en que los puntos (109) y (111) sean iguales. En este caso, el líquido empezará a hervir dentro del núcleo central de mecha de la bomba capilar primaria 4, lo que dará lugar a un aumento repentino de fuga parásita de calor, a degradación de conductancia térmica del HTL y finalmente al secado de la mecha y a interrupción de la circulación de fluido (fallo de operación del HTL). Así, el subenfriamiento de líquido (104-105) es el parámetro fundamental para la operación apropiada y estable de cualquier HTL.

Especialmente importantes para los regímenes transitorios son los cambios rápidos grandes del sumidero de calor, la fuente de calor o las condiciones ambientales tales como la potencia de entrada de la fuente de calor, las temperaturas del condensador y ambiente o las condiciones de intercambio térmico que pueden provocar el secado del o de los evaporadores debido a subenfriamiento insuficiente.

Para garantizar la operación apropiada del HTL en todos los regímenes se propone controlar la temperatura de la cámara de compensación remota 20 de tal forma que para todos los escenarios de operación del ACHTL haya suficiente subenfriamiento de líquido para compensar la fuga parásita de calor antes de que el punto (109) converja con el punto (111): secado. Como se representa en la figura 4a, el aumento de la diferencia de temperatura entre cámaras remotas y de estabilización compensación $T_{110}-T_{108} = \Delta T_{RCC-SCC}$ producirá el aumento de la caída de temperatura de subenfriamiento general $T_{104}-T_{106} = \Delta T_{Subcool}$. Las diferencias de temperatura necesarias pueden obtenerse por calentamiento de la cámara de compensación remota (figura 4a, entrada de calor 11 a la cámara de compensación remota 20). Debido a este calentamiento, el líquido procedente de la cámara de compensación remota 20 es empujado al condensador 24 (el vapor se expande). Da lugar a una mayor longitud del recorrido de líquido en el condensador y finalmente a un aumento de la tasa de subenfriamiento del líquido.

Pueden identificarse los siguientes regímenes transitorios de ACHTL:

1. Arranque. Este evento es muy estresante y menos predecible para el sistema dado que depende no solamente de las temperaturas iniciales de los elementos del ACHTL y la potencia aplicada al evaporador, sino también de la asignación original de las fases vapor y líquido dentro del ACHTL.
2. Parada. En el caso de múltiples evaporadores, el efecto del apagado de potencia del ACHTL para uno o varios evaporadores, manteniendo el resto de los evaporadores operando, puede dar lugar a repentinas redirecciones de los flujos de vapor y líquido y a fuertes oscilaciones e incluso a secado del sistema.
3. Aumento de la potencia de entrada del evaporador
4. Disminución de la potencia de entrada del evaporador
5. Aumento de la temperatura del condensador
6. Disminución de la temperatura del condensador
7. Combinaciones de las condiciones 3-5, 3-6, 4-5, 4-6 para un ACHTL de un evaporador un condensador

8. Múltiples combinaciones de las condiciones 1-2-3-4-5-6 para ACHTL de múltiples evaporadores y múltiples condensadores

5 9. Cambio de las condiciones térmicas medioambientales de las líneas de transporte que también pueden combinarse con todos los casos 1-8 indicados anteriormente.

10 Cuanto más complejo es el sistema, más combinaciones son posibles, más difícil es predecir y probar el comportamiento del sistema en modo de operación transitorio. La solución es controlar activamente el comportamiento transitorio controlando la temperatura de la cámara de compensación remota según las reglas siguientes:

$$T_{RCC} + \Delta T_{control} = T_{SCC}$$

15 para un diseño de ACHTL de un evaporador

$$T_{RCC} + \Delta T_{control} = \text{Max}(T_{SCC1}, T_{SCC2}, \dots, T_{SCCn})$$

20 para un diseño de ACHTL de múltiples n-evaporadores

Este control suprimirá todos los flujos inversos indeseados posibles y las oscilaciones que puedan producir fallo del sistema. La selección del parámetro $\Delta T_{control}$ es realizado por modelado, considerando los escenarios transitorios más estresantes de la operación de ACHTL, tales como cambio máximo y rampa máxima de las potencias de entrada y de las temperaturas del condensador, orientación en el campo de gravedad, condiciones térmicas medioambientales de las líneas de transporte, etc. Durante la campaña de pruebas, el parámetro $\Delta T_{control}$ puede ajustarse. Valores demasiado grandes de $\Delta T_{control}$ pueden dar lugar a degradación indeseada del rendimiento de ACHTL (menor conductancia térmica) en muchos regímenes de operación nominal y finalmente a sobredimensionamiento del sistema dado que el subenfriamiento es una función de las dimensiones del condensador: una subenfriamiento más alto necesita una mayor área de condensador. Sin embargo, valores demasiado pequeños de $\Delta T_{control}$ pueden provocar fallo de ACHTL en modos transitorios. Típicamente, $\Delta T_{control}$ está en el rango de $1 \pm 10^\circ\text{C}$. Para optimizar el rendimiento del sistema, puede usarse la variable $\Delta T_{control}$ como una función del modo operativo de ACHTL. Por ejemplo: antes del evento de arranque es deseable tener grandes diferencias de temperatura entre las cámaras remotas y de estabilización compensación (por ejemplo, 5°C), pero después del arranque cuando todas las temperaturas se han estabilizado, es posible reducir $\Delta T_{control}$ (por ejemplo, 2°C) para aumentar el rendimiento del ACHTL y reducir el consumo de potencia del control activo.

40 El dispositivo ACHTL 1 puede contener varios evaporadores 2 y varios condensadores paralelos 24 aunque en las figuras 1a y 1b solamente se representan dos evaporadores y un condensador.

Se ofrece la oportunidad de que los evaporadores 2 puedan recoger la potencia de diferentes fuentes de calor, que podrían situarse una lejos de las otras gracias a la flexibilidad/adaptabilidad que proporciona el concepto de dispositivo ACHTL 1.

45 El diseño del volumen de la cámara de estabilización-compensación tiene que proporcionar la posibilidad de enfriar y condensar burbujas de vapor generadas por fuga parásita de calor 12 (la cámara funciona como un acumulador frío, realizando una efectiva compensación de la fuga de calor); suministrar el líquido a la bomba capilar primaria 4 (la cámara funciona como un acumulador de líquido, realizando la compensación de flujo reducido de líquido desde el condensador antes de que el flujo se desarrolle y establezca por completo) en los peores modos transitorios de operación del ACHTL.

50 Una cámara de compensación remota 20 (común para todos los evaporadores 2 de la opción de múltiples evaporadores) incluida en el diseño propuesto sirve para acumular líquido y para compensar los cambios de volumen de líquido durante la operación del dispositivo ACHTL 1. Este depósito grande ayuda a evitar la obligación de diseñar una cámara de compensación de volumen grande para los evaporadores individuales en la opción de múltiples evaporadores. Por lo tanto, esta configuración permite tener un diseño escalable que puede montarse más fácilmente en el número de evaporadores requerido y los requisitos específicos de cada aplicación, porque los evaporadores tendrán el mismo diseño independientemente del diseño y el volumen de las líneas 18, 22, 23, los condensadores 24, el número total de evaporadores, etc. Solamente el volumen de la cámara de compensación remota 20 tiene que ajustarse para cada diseño específico de ACHTL.

El control avanzado de la temperatura de la cámara de compensación remota 20 puede realizarse de formas diferentes, dependiendo de los requisitos de cada aplicación con la ayuda de:

- un calentador colocado en la superficie externa de la cámara de compensación remota (calentador del tipo de película)

5 - un calentador integrado en la cámara de compensación remota (calentador del tipo de cartucho)

- un refrigerador eléctrico térmico colocado en la superficie externa de la cámara de compensación remota con la opción de calentamiento o enfriamiento por un cambio de polaridad de voltaje

10 Aunque la presente invención se ha descrito plenamente en conexión con realizaciones preferidas, es evidente que pueden introducirse modificaciones dentro de su alcance, que no se ha de considerar limitado por estas realizaciones, sino por el contenido de las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1. Aparato de bucle de transferencia de calor de control avanzado (1) para aplicaciones de transferencia de calor y control térmico, usando un fluido bifásico como un medio de trabajo e incluyendo:

- al menos un evaporador (2) a conectar con una fuente de calor e incluyendo una bomba capilar primaria (4), una cámara de estabilización-compensación térmica (3) que está montada en el al menos único evaporador (2),

- al menos un condensador (24) a conectar con un sumidero de calor,

- líneas de líquido (22) y líneas de vapor (23) que conectan el al menos único evaporador (2) y el al menos único condensador (24),

- una cámara de compensación remota (20),

- sensores de temperatura (27) para detectar la temperatura de la cámara de compensación remota (20), y

- al menos un elemento de calentamiento (19) para calentar la cámara de compensación remota (20), y

- un controlador (28),

caracterizado porque también incluye sensores de temperatura para detectar la temperatura en la cámara de estabilización-compensación térmica (3) montada en el al menos único evaporador (2) y porque el controlador (28) está configurado para supervisar las temperaturas detectadas por los sensores (27) y para controlar el elemento de calentamiento (19) de tal manera que el valor de la diferencia $\Delta T_{Control}$ entre la temperatura de la cámara de compensación remota (20) y la temperatura de la cámara de estabilización-compensación térmica (3) montada en el al menos único evaporador (2) sea positivo.

2. Bucle de transferencia de calor de control avanzado (1) para aplicaciones de transferencia de calor y control térmico según la reivindicación 1, donde el valor positivo de la diferencia $\Delta T_{Control}$ entre la temperatura de la cámara de compensación remota (20) y la temperatura de la cámara de estabilización-compensación térmica (3) montada en el al menos único evaporador (2) es un valor fijo.

3. Bucle de transferencia de calor de control avanzado (1) para aplicaciones de transferencia de calor y control térmico según la reivindicación 1, donde el valor positivo de la diferencia $\Delta T_{Control}$ entre la temperatura de la cámara de compensación remota (20) y la temperatura de la cámara de estabilización-compensación térmica (3) montada en el al menos único evaporador (2) es un valor variable según una función de los modos de operación del bucle de transferencia de calor de control avanzado (1).

4. Bucle de transferencia de calor de control avanzado (1) para aplicaciones de transferencia de calor y control térmico según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el controlador (28) está configurado para proporcionar una estabilización de la temperatura de la fuente de calor (11) a un valor fijo por encima de la diferencia $\Delta T_{Control}$ entre la temperatura de la cámara de compensación remota (20) y la temperatura de la cámara de estabilización-compensación térmica (3) montada en el al menos único evaporador (2).

5. Bucle de transferencia de calor de control avanzado (1) para aplicaciones de transferencia de calor y control térmico según alguna de las reivindicaciones precedentes, donde la bomba capilar primaria (4) está conectada a la cámara de estabilización-compensación térmica por medio de una bomba capilar secundaria (5) que proporciona una operación independiente del campo de gravedad del evaporador (2).

6. Bucle de transferencia de calor de control avanzado (1) para aplicaciones de transferencia de calor y control térmico, según alguna de las reivindicaciones precedentes, donde la bomba capilar primaria (4) incluye canales de vapor exteriores (6) para recoger y quitar calor de un equipo enfriado y canales de vapor interiores (8) para recoger y quitar burbujas de vapor (10) producidas por fuga parásita de calor (12) que penetra a través de la bomba capilar primaria (4).

7. Bucle de transferencia de calor de control avanzado (1) para aplicaciones de transferencia de calor y control térmico según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la cámara de compensación remota (20) incluye una estructura capilar interna (21) para asegurar la presencia continua de la fase líquido en la entrada de la línea de alimentación de líquido (18) a la cámara de compensación remota (20).

8. Bucle de transferencia de calor de control avanzado (1) para aplicaciones de transferencia de calor y control térmico según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, incluyendo además una bomba de líquido (31) en la línea de líquido (22).

9. Un método para operar un aparato de bucle de transferencia de calor de control avanzado (1) para aplicaciones

de transferencia de calor y control térmico, usando el aparato (1) un fluido bifásico como un medio de trabajo e incluyendo:

- 5 - al menos un evaporador (2) a conectar con una fuente de calor e incluyendo una bomba capilar primaria (4), estando montada una cámara de estabilización-compensación térmica (3) en el al menos único evaporador (2),
- al menos un condensador (24) a conectar con un sumidero de calor,
- 10 - líneas de líquido (22) y líneas de vapor (23) que conectan el al menos único evaporador (2) y el al menos único condensador (24),
- una cámara de compensación remota (20),
- 15 - al menos un elemento de calentamiento (19) para calentar la cámara de compensación remota (20), y
- un controlador (28),

20 **caracterizado porque** las temperaturas de la cámara de compensación remota (20) y en la cámara de estabilización-compensación térmica (3) montada en el al menos único evaporador (2) son detectadas y supervisadas y el elemento de calentamiento (19) es controlado de tal forma que el valor de la diferencia $\Delta T_{\text{Control}}$ entre la temperatura de la cámara de compensación remota (20) y la temperatura de la cámara de estabilización-compensación térmica (3) montada en el al menos único evaporador (2) sea positivo.

25 10. El método según la reivindicación 9, donde el valor positivo de la diferencia $\Delta T_{\text{Control}}$ entre la temperatura de la cámara de compensación remota (20) y la temperatura de la cámara de estabilización-compensación térmica (3) montada en el al menos único evaporador (2) es un valor fijo.

30 11. El método según la reivindicación 9, donde el valor positivo de la diferencia $\Delta T_{\text{Control}}$ entre la temperatura de la cámara de compensación remota (20) y la temperatura de la cámara de estabilización-compensación térmica (3) montada en el al menos único evaporador (2) es un valor variable según una función de los modos de operación del bucle de transferencia de calor de control avanzado (1).

35 12. El método según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, donde se facilita la estabilización de la temperatura de la fuente de calor (11) a un valor fijo por encima de la diferencia $\Delta T_{\text{Control}}$ entre la temperatura de la cámara de compensación remota (20) y la temperatura de la cámara de estabilización-compensación térmica (3) montada en el al menos único evaporador (2).

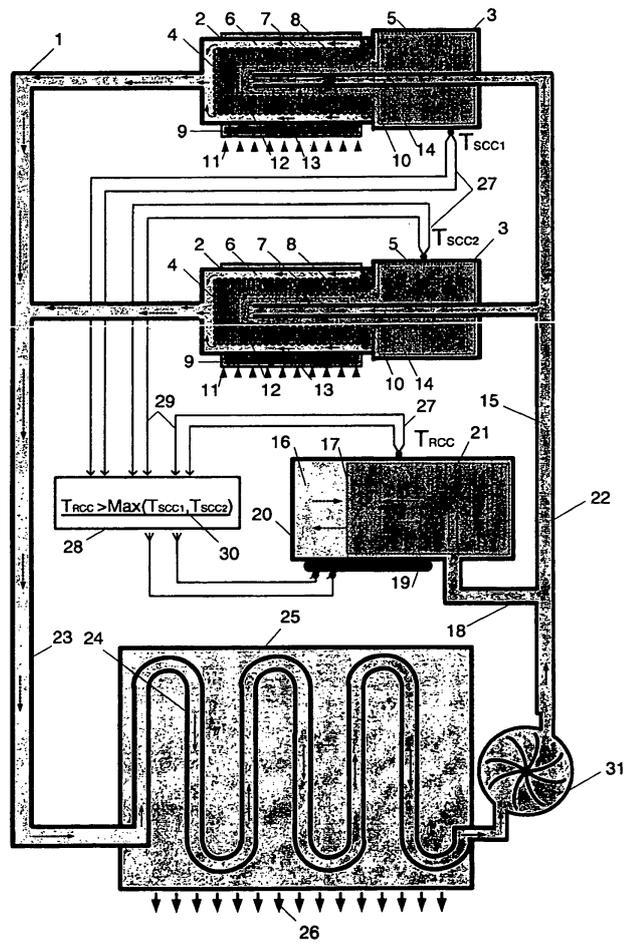


FIG. 1b

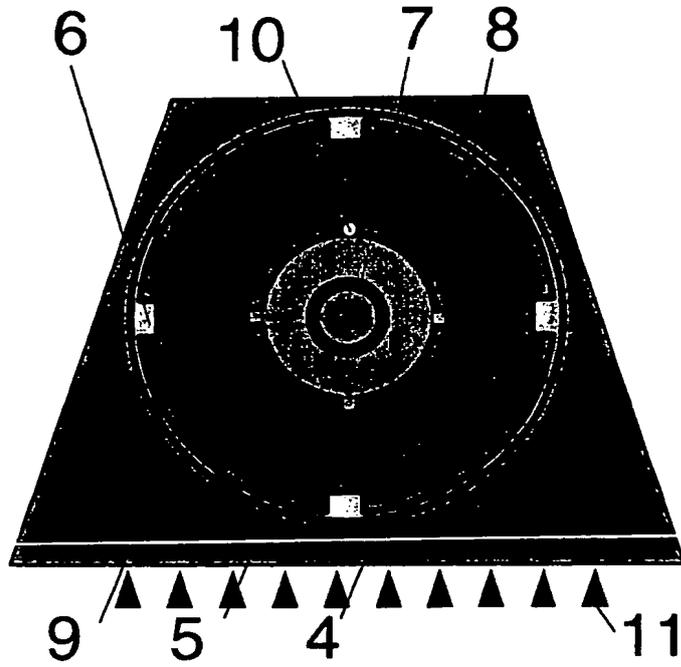


FIG. 2

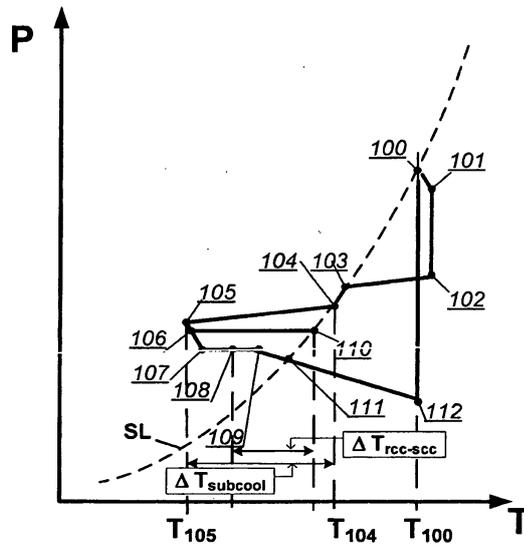


FIG.3a

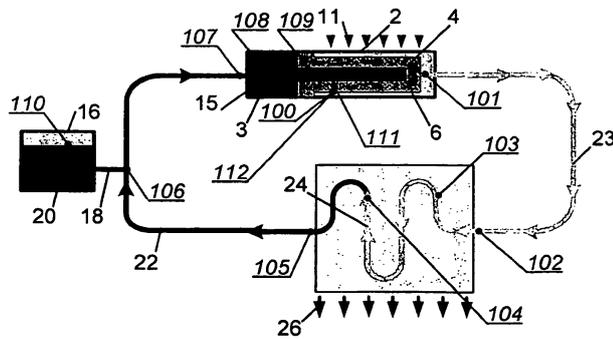


FIG.3b

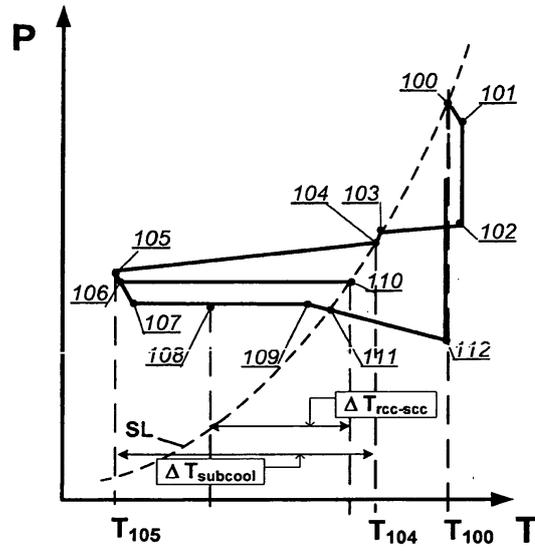


FIG. 4a

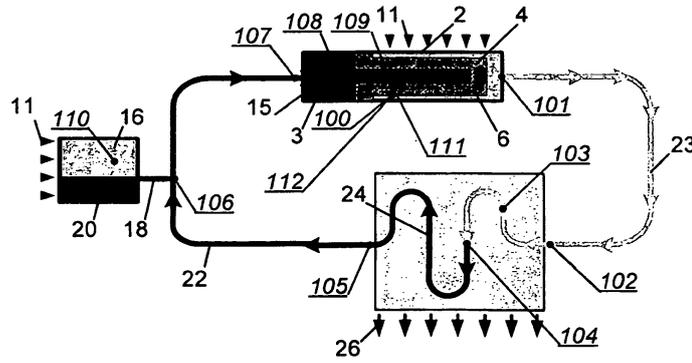


FIG. 4b