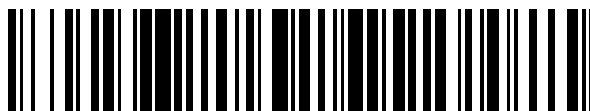


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 679 290**

51 Int. Cl.:

F25B 21/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.11.2012** **PCT/IB2012/002485**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.05.2013** **WO13076571**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2012** **E 12812714 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.04.2018** **EP 2783170**

54 Título: **Generador térmico magnetocalórico**

30 Prioridad:

24.11.2011 FR 1160722

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

23.08.2018

73 Titular/es:

COOLTECH APPLICATIONS S.A.S. (100.0%)
Impasse Antoine Imbs
67810 Holtzheim, FR

72 Inventor/es:

MULLER, CHRISTIAN

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 679 290 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

Generador térmico magnetocalórico.

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un generador térmico magnetocalórico que comprende por lo menos un ensamblaje de por lo menos dos módulos magnetocalóricos atravesados por un fluido caloportador puesto en circulación por unos medios de accionamiento.

10

Técnica anterior

La tecnología del frío magnético a temperatura ambiente se conoce desde hace más de veinte años y se conocen las ventajas que aporta en términos de ecología y de desarrollo sostenible. Se conocen también sus límites en cuanto a su potencia calorífica útil y a su rendimiento. Por lo tanto, las investigaciones llevadas a cabo en este campo tienden todas a mejorar los rendimientos de un generador térmico magnetocalórico actuando sobre los diferentes parámetros, tales como la potencia de imantación, los rendimientos de los materiales magnetocalóricos, la superficie de intercambio entre el fluido caloportador y los materiales magnetocalóricos, el rendimiento de los intercambiadores de calor, etc.

20

Un generador térmico magnetocalórico comprende unos materiales magnetocalóricos que tienen la capacidad de calentarse bajo la acción de un campo magnético y que se enfrían cuando se retira o reduce este campo magnético. Este efecto denominado magnetocalórico se utiliza para realizar un gradiente térmico entre los dos extremos denominados extremo caliente y extremo frío de un generador térmico. Para hacer esto, se hace circular un fluido caloportador alternativamente a través de los materiales magnetocalóricos en una primera dirección (hacia el extremo caliente del generador) cuando se aplica o aumenta el campo magnético, y en la dirección opuesta (hacia el extremo frío) cuando se retira o disminuye el campo magnético.

25

Ahora bien, el hecho de realizar un intercambio térmico con una aplicación exterior en forma de un sistema de calentamiento, refrigeración, climatización, templado, etc. tiene por efecto reducir y limitar el gradiente térmico dentro de los materiales magnetocalóricos, lo cual provoca unas pérdidas de energía térmica dentro del generador. En efecto, es necesario utilizar una parte de la energía térmica producida para restablecer un gradiente térmico, lo cual reducirá la potencia térmica útil disponible. Esto se ilustra en referencia a las figuras 1A y 1B que representan un conjunto magnetocalórico que comprende dos niveles magnetocalóricos M1 y M2 y cuyo extremo frío está unido térmica y fluidicamente a un intercambiador térmico denominado intercambiador frío EF y a un pistón P2, y el extremo caliente está unido a un intercambiador térmico denominado intercambiador caliente EC y a un pistón P1. Otro pistón P3 está montado entre los dos niveles. Considerando únicamente el nivel magnetocalórico M1 situado en el lado caliente, durante un ciclo magnetocalórico, al final de una fase de calentamiento del nivel magnetocalórico M1 debido a la aplicación de un campo magnético por los imanes A, el fluido que sale del nivel magnetocalórico M1 presenta una temperatura de 20°C, atraviesa el intercambiador caliente EC y alcanza el pistón P1 con una temperatura por ejemplo de 18°C tras el intercambio térmico realizado en el intercambiador caliente EC (véase la figura 1A). Se invierte después el campo magnético, así como el sentido de desplazamiento del fluido, de manera que, al final de la fase siguiente de enfriamiento, el fluido atraviese, en primer lugar, el intercambiador caliente EC y llegue, de este modo, al nivel magnetocalórico M1 a una temperatura de 16°C debida al nuevo intercambio térmico en el intercambiador caliente EC (véase la figura 1B). Ahora bien, siendo la temperatura del fluido (16°C) inferior a la temperatura del material que constituye el extremo del nivel magnetocalórico M1 (18°C), existe un intercambio térmico que se realiza cuando el fluido llega al nivel magnetocalórico M1. Este intercambio hace caer el gradiente térmico en el nivel magnetocalórico M1 y genera unas pérdidas térmicas, reduciendo así la energía térmica útil del generador térmico correspondiente. La misma demostración se aplica para el lado frío.

40

45

50

Otro inconveniente de este tipo de configuración se refiere al número importante de pistones o medios de accionamiento necesarios para desplazar el fluido caloportador, lo cual genera un volumen de espacio importante y necesita una cantidad importante de energía para su circulación.

55

Una solución conocida para reducir este volumen se representa en la figura 2. Consiste en juntar las tres cámaras de los tres pistones de las figuras 1A y 1B y realizar un accionamiento único. Así, cuando se llenan las cámaras caliente y fría de este pistón particular P4, se vacía la cámara intermedia, y a la inversa. Sin embargo, en esta solución, las cámaras caliente, fría e intermedia se colocan unas cerca de las otras y con unos puentes térmicos, lo cual puede provocar un intercambio térmico entre las diferentes cámaras, y tiene como consecuencia una degradación de la eficacia del generador térmico magnetocalórico.

60

En el artículo de C. Muller "Réfrigération magnétique, une révolution pour demain?" (Revue pratique du froid et du conditionnement d'air, PYC Edition SA, Paris, FR, n° 924 del 01/04/2004, páginas 59-63) y en la publicación US n° 4.704.871 los generadores térmicos comprenden dos módulos magnetocalóricos unidos en serie en un circuito cerrado de fluido caloportador que comprende los intercambiadores térmicos y una bomba de circulación

65

de dicho fluido, estando cada módulo limitado a un nivel de material magnetocalórico que no permite alcanzar unos gradientes de temperatura elevados.

El documento US-A-4.704.871 describe un generador térmico según el preámbulo de la reivindicación 1.

Así, existe una necesidad de mejora y de optimización del volumen de un generador térmico magnetocalórico y de sus intercambios térmicos con una o varias aplicaciones exteriores.

Además, otro aspecto susceptible de mejora en los generadores térmicos magnetocalóricos se refiere a la energía total necesaria para el funcionamiento del generador térmico magnetocalórico, para mejorar el rendimiento de dicho generador.

Finalmente, además de tener que presentar una eficacia energética explotable, un generador térmico magnetocalórico también debe presentar un tamaño o un volumen de espacio reducido que permita, por ejemplo, integrarlo en un aparato doméstico, un vehículo, etc.

Descripción de la invención

La presente invención tiene como objetivo responder a las obligaciones antes citadas y proponer un generador térmico magnetocalórico que presenta una eficacia térmica aumentada.

Con este objetivo, la invención se refiere a un generador térmico magnetocalórico que tiene las características de la reivindicación 1.

De esta manera, es posible "extraer" la mitad de la diferencia de temperatura entre los dos niveles magnetocalóricos unidos por un circuito de transferencia. Esto tiene por efecto no degradar el gradiente de temperatura presente en los diferentes niveles magnetocalóricos y asegurar un intercambio térmico con el exterior del generador térmico sin degradar su eficacia.

Según la invención, los intercambiadores térmicos pueden realizar así un intercambio térmico controlado para que dicho circuito de transferencia fría modifique la temperatura de dicho fluido caloportador de tal manera que el fluido caloportador que sale del extremo frío de uno de los módulos magnetocalórico con una temperatura de salida vuelva a entrar en el extremo frío del otro módulo magnetocalórico que corresponde a una temperatura de entrada sustancialmente igual a la temperatura de dicho extremo frío y para que dicho circuito de transferencia caliente modifique la temperatura de dicho fluido caloportador de tal manera que el fluido caloportador que sale del extremo caliente de uno de dichos módulos magnetocalóricos con una temperatura de salida vuelva a entrar en el extremo caliente del otro módulo magnetocalórico que corresponde a una temperatura de entrada sustancialmente igual a la temperatura de dicho extremo caliente.

Mediante la expresión sustancialmente igual, se entiende que la temperatura del fluido caloportador es igual a la temperatura del extremo en cuestión con una diferencia máxima de temperatura que corresponde al cuarenta por ciento del efecto magnetocalórico (que depende a su vez del campo magnético).

Esto da como resultado que en cualquier momento del ciclo magnetocalórico, la temperatura media del fluido caloportador que vuelve a entrar en la cámara de un pistón sea igual a la temperatura media del fluido caloportador que sale de las otras cámaras de pistón.

Según la invención, dichos módulos magnetocalóricos pueden comprender por lo menos dos sub-módulos magnetocalóricos que comprenden cada uno por lo menos dos niveles magnetocalóricos, y en dichos módulos magnetocalóricos, dichos sub-módulos pueden ser montados en paralelo.

Preferentemente, se pueden unir dichos medios de accionamiento entre unos extremos consecutivos de los niveles magnetocalóricos que no están situados a nivel de los lados frío y caliente de los módulos magnetocalóricos.

Según la invención, dicho sub-módulo puede comprender por lo menos dos grupos de niveles magnetocalóricos, estando dichos grupos unidos fluidicamente entre sí por un medio de accionamiento del fluido caloportador, y en cada grupo los niveles magnetocalóricos pueden estar unidos en serie.

En una variante, un intercambiador térmico intermedio puede estar dispuesto entre dos niveles magnetocalóricos consecutivos de dichos grupos.

Además, dicho intercambiador térmico intermedio puede estar unido al intercambiador térmico de uno de dichos circuitos de transferencia. Para ello, todos o algunos de los intercambiadores térmicos intermedios situados en el lado caliente del generador térmico magnetocalórico pueden estar unidos al intercambiador térmico del circuito de transferencia caliente y todos o algunos de los intercambiadores térmicos intermedios situados en el lado frío

del generador térmico magnetocalórico pueden estar unidos al intercambiador térmico del circuito de transferencia frío.

Como variante, los intercambiadores térmicos intermedios de los grupos unidos al circuito de transferencia frío pueden estar unidos entre sí y los intercambiadores térmicos intermedios de los grupos unidos al circuito de transferencia caliente pueden estar unidos entre sí. Esto permite, en particular, acelerar la obtención de un gradiente térmico entre los lados frío y caliente del generador térmico magnetocalórico.

En una variante de realización, dichos medios de accionamiento pueden estar realizados en forma de pistones de simple efecto y la cámara de cada pistón puede estar unida fluidicamente a los niveles magnetocalóricos de un módulo magnetocalórico.

En otra variante, dichos medios de accionamiento pueden estar realizados en forma de un pistón de doble efecto, pudiendo cada cámara de dicho pistón estar unida fluidicamente a los niveles magnetocalóricos de un módulo magnetocalórico.

El generador según la invención puede comprender además un sistema magnético dispuesto para someter los niveles magnetocalóricos a un campo magnético variable para que los niveles magnetocalóricos situados en el extremo frío y los niveles magnetocalóricos situados en el extremo caliente estén constantemente en una fase diferente de calentamiento o de enfriamiento.

Además, según la invención, con el fin de optimizar el volumen del generador térmico, los niveles magnetocalóricos pueden ser montados en unos soportes en forma de discos, comprendiendo cada soporte por lo menos un nivel magnetocalórico de cada módulo magnetocalórico.

Breve descripción de los dibujos

La presente invención y sus ventajas aparecerán mejor en la descripción siguiente de modos de realización dados a título de ejemplos no limitativos, en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- las figuras 1A y 1B representan esquemáticamente un conjunto magnetocalórico según la técnica anterior durante dos fases sucesivas de un ciclo magnetocalórico,
- la figura 2 representa otro conjunto magnetocalórico según la técnica anterior,
- la figura 3 es una vista esquemática de un conjunto magnetocalórico según la invención, en una primera fase de un ciclo magnetocalórico.
- la figura 4 representa el conjunto magnetocalórico de la figura 3 en la fase siguiente del ciclo magnetocalórico,
- la figura 4' representa el conjunto magnetocalórico de la figura 3 en el que están esquematizados unos discos de soporte de niveles magnetocalóricos,
- la figura 5 es una vista esquemática de un conjunto magnetocalórico según una variante de la invención,
- la figura 6 es una vista esquemática de un conjunto magnetocalórico según otra variante de la invención,
- la figura 7 es una vista esquemática de una variante del generador térmico 1 de las figuras 3 y 4,
- la figura 8 es una vista esquemática de una variante del generador térmico de la figura 7, y
- la figura 9 es una vista esquemática de una variante del generador térmico de la figura 8.

Ilustraciones de la invención

En los ejemplos de realización ilustrados, las piezas o partes idénticas llevan las mismas referencias numéricas.

La figura 3 representa un ensamblaje de dos módulos magnetocalóricos 2, 3 de un generador térmico 1 según la invención. Cada módulo magnetocalórico 2, 3 comprende dos niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311. Cada nivel magnetocalórico 210, 211, 310, 311 comprende por lo menos un material magnetocalórico que tiene la capacidad de enfriarse y de calentarse bajo el efecto de variaciones de un campo magnético.

En el ejemplo de realización descrito en referencia a la figura 3, los módulos magnetocalóricos 2, 3 comprenden un solo sub-módulo 21, 31 que comprende a su vez los dos niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311. No obstante, la invención no está relacionada con la integración de dos niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311

en cada sub-módulo magnetocalórico 21, 31. Es posible integrar un número superior de tales niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311. De la misma manera, es posible integrar por lo menos dos sub-módulos magnetocalóricos unidos en paralelo en cada módulo magnetocalórico. Una configuración de este tipo se representa más particularmente en las figuras 5 y 6.

Los niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311 están unidos fluidicamente por un fluido caloportador, preferentemente un líquido. Para este propósito, los niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311 son permeables al fluido caloportador y comprenden unos pasos de fluido pasantes, obtenidos por un ensamblaje de placas de material(es) magnetocalórico(s) separadas unas de las otras. Por supuesto, puede ser adecuada cualquier otra forma de realización que permita que el fluido caloportador atraviese dichos niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311. Además, la invención no está limitada a la utilización de niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311 cuya estructura es rectilínea, tal como se representa en las figuras adjuntas 3 a 6, sino que se extiende a cualquier otra estructura tal como circular o una estructura combinada circular/rectilínea.

Según la invención, la configuración particular descrita a continuación que consiste en unir fluidicamente los dos módulos magnetocalóricos 2, 3 por dos circuitos de transferencia 6 y 7 permite realizar unos intercambios térmicos con dos circuitos exteriores sin degradar el gradiente de temperatura establecido en cada uno de dichos niveles magnetocalórico 210, 211, 310, 311. Esta unión entre los módulos magnetocalóricos 2 y 3 se realiza de manera continua y permanente, es decir que dichos módulos magnetocalóricos están constantemente unidos entre sí por medio de los circuitos de transferencia 6 y 7.

Para este propósito, los niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311 de cada sub-módulo magnetocalórico 21, 31 se conectan entre sí por un circuito de fluido caloportador provisto de un pistón 212, 312 de simple efecto dispuesto entre los dos niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311 de un sub-módulo magnetocalórico 21, 31 para hacer circular el fluido caloportador. En otras palabras, la cámara 213, 313 de cada pistón 212, 312 está unida fluidicamente a todos los niveles magnetocalóricos 210, 212, respectivamente 310, 311, de un módulo magnetocalórico 2, 3. En cada sub-módulo magnetocalórico 21, 31, los dos niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311 están constantemente en una fase magnética diferente, es decir que cuando uno de dichos niveles magnetocalórico 210, 311 sufre una elevación de temperatura debido a la aplicación de un campo magnético, el otro nivel magnetocalórico 211, 310 sufre una disminución de su temperatura debido a la contracción o a la disminución del campo magnético. El fluido caloportador circula para ello simultáneamente en dos direcciones opuestas en los niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311 correspondientes de cada sub-módulo magnetocalórico 21, 31. Se obtiene así un ensamblaje paralelo entre la rama fría y la rama caliente de dicho generador, constituido respectivamente por los niveles magnetocalóricos unidos a dichos intercambiadores frío 61 y caliente 71. El modo de circulación del fluido en estos niveles en función de su fase magnética se describe más precisamente en la solicitud de patente FR 2 937 793 a nombre de la solicitante.

Así, en comparación con los generadores de la técnica anterior descritos anteriormente e ilustrados en las figuras 1A y 1B, los medios de accionamiento del fluido o pistones 212, 312 están montados únicamente entre los niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311 de los sub-módulos 21, 31. Esto permite reducir el número de pistones o dispositivos aptos para desplazar el fluido caloportador y, por lo tanto, reducir el número de componentes del generador, así como su volumen y su coste. Un generador térmico 1 según la invención, representado en las figuras 3 y 4, comprende dos pistones 212, 312 para cuatro niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311, mientras que en algunos de los generadores conocidos, se utilizan seis pistones para desplazar el fluido caloportador a través de cuatro niveles térmicos. De esta manera, en esta configuración, se reduce también la energía necesaria para el desplazamiento del fluido caloportador, lo cual permite una mejora del rendimiento del generador. Finalmente, un generador térmico 1 de este tipo permite, siendo al mismo tiempo compacto y utilizando un número de componentes limitado, suprimir los puentes térmicos entre las diferentes cámaras de los pistones.

Los niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311 comprenden unos materiales magnetocalóricos aptos para establecer un gradiente de temperatura entre sus dos extremos de entrada y de salida del fluido caloportador. Este gradiente se obtiene gracias a la sucesión de ciclos magnetocalóricos que consisten en:

- aplicar un campo magnético sobre un nivel magnetocalórico, lo cual provoca un calentamiento de este último, y después hacer circular el fluido caloportador del extremo denominado "extremo frío" hacia el extremo denominado "extremo caliente" del nivel magnetocalórico (primera fase del ciclo), y después
- retirar o disminuir el campo magnético, lo cual provoca un enfriamiento del nivel magnetocalórico, y después hacer circular el fluido caloportador del extremo caliente hacia el extremo frío del nivel magnetocalórico (segunda fase del ciclo).

En cada sub-módulo magnetocalórico 21, 31, los niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311 presentan unos materiales magnetocalóricos diferentes, aptos para realizar unos gradientes de temperatura desplazados y los niveles térmicos 210, 211, 310, 311 están montados en los sub-módulos 21, 31 de tal manera que el nivel

térmico 211, 311 que comprende el extremo más frío F2, respectivamente F3, está montado en el lado frío del generador (lado situado a la derecha en las figuras 3 y 4) y está directamente unido al circuito de transferencia 6 frío, y que el nivel térmico 210, 310 que comprende el extremo más caliente C2, respectivamente C3, está montado en el lado caliente del generador (lado situado a la izquierda en las figuras 3 y 4) y está directamente unido al circuito de transferencia 7 caliente.

Los niveles magnetocalóricos 211, 311 situados en el lado frío del generador térmico 1 tienen sustancialmente el mismo gradiente térmico y el mismo efecto magnetocalórico, es decir que, en el régimen establecido, por un lado, la diferencia de temperatura entre los dos extremos de los niveles 211, 311 es la misma y que, por otro lado, la diferencia de temperatura o salto de temperatura de los materiales que constituyen estos niveles magnetocalóricos 211, 311 es la misma para un mismo ciclo magnético. Este es también el caso para los niveles magnetocalóricos 210, 310 situados en el lado caliente del generador térmico 1. Además, el efecto magnetocalórico, es decir el salto o diferencia de temperatura debido a la variación de campo magnético, es sustancialmente el mismo para todos los niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311 de este generador térmico 1.

Los niveles magnetocalóricos 210, 211 y 310, 311 respectivamente de los extremos calientes y fríos están unidos fluidicamente por un circuito de transferencia 7, 6 que comprende un intercambiador térmico 71, 61 respectivamente caliente y frío. Los dos niveles magnetocalóricos 210, 310 y 211, 311 unidos por un circuito de transferencia 7, 6 están también constantemente en una fase magnética diferente, es decir que cuando se somete a uno de dichos niveles magnéticos 210, 311 a un campo magnético (por ejemplo de una intensidad de 1,2 Teslas), no se somete al otro nivel magnetocalórico 310, 211 al que está unido por el circuito de transferencia 7, 6 a ningún campo magnético, y a la inversa.

El cambio de intensidad del campo magnético aplicado a los niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311 se puede realizar mediante un sistema magnético 8 que comprende unos imanes permanentes asociados o no a unas piezas polares y en desplazamiento relativo con respecto a dichos niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311, o por una bobina alimentada eléctricamente, o mediante cualquier otro medio equivalente.

Los intercambiadores 61, 71 de los circuitos de transferencia 6, 7 realizan un intercambio térmico controlado entre el lado frío del generador y un primer circuito exterior (no representado) y entre el lado caliente del generador y un segundo circuito exterior (no representado). En efecto, y según la invención, los intercambiadores térmicos 61, 71 están parametrizados para intercambiar con los circuitos exteriores, durante el funcionamiento, una cantidad de energía que corresponde preferentemente a la diferencia de temperatura entre los dos extremos correspondientes de los niveles magnetocalóricos 210, 211 y 310, 311, unidos por el circuito de transferencia 6, 7. Esta parametrización se realiza gracias a las superficies de intercambio en el intercambiador 61, 71, a la elección de los fluidos o líquidos caloportadores en términos de capacidad de intercambio, y al caudal de estos fluidos de tal manera que la energía intercambiada en el intercambiador 61, 71 con el fluido caloportador que circula en el generador térmico 1 según la invención, corresponda sustancialmente a la diferencia de temperatura de este fluido caloportador cuando entra en un nivel magnetocalórico 210, 211, 310, 311 que sufre el efecto magnetocalórico y de la temperatura de este fluido cuando sale del mismo.

Una medida de este tipo permite acercarse lo mejor posible a la temperatura del fluido caloportador que ha atravesado el circuito de transferencia 6, 7 con la temperatura del extremo del nivel magnetocalórico correspondiente 210, 211 y 310, 311. Esto da como resultado, por un lado, que el fluido caloportador no perturbe el gradiente térmico en el nivel magnetocalórico 210, 211, 310, 311 en cuestión y, por otro lado, que la energía térmica intercambiada con el exterior se utilice positivamente y no genere una pérdida de eficacia del generador térmico 1.

Las figuras 3 y 4 representan, para este propósito, las dos fases del ciclo magnetocalórico de los niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311 e indican las temperaturas obtenidas durante el funcionamiento del generador térmico 1 según la invención (las temperaturas de los materiales magnetocalóricos que forman los extremos de los niveles magnetocalóricos están subrayadas). Los sub-módulos 21 y 31 se conectan fluidicamente y por medio de los intercambiadores térmicos 61, 71 y sus niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311 se someten a una sollicitación magnética inversa.

Considerando la figura 3, se constata que, en el régimen establecido, al final del calentamiento del nivel magnetocalórico 210 debido a la aplicación de un campo magnético por el sistema magnético 8, el fluido caloportador que sale del nivel magnetocalórico 210 a la temperatura T_{sf} de 20°C atraviesa el intercambiador térmico 71 del circuito de transferencia caliente 7. Entra después en el nivel magnetocalórico 310 a la temperatura T_{ef} de 18°C que corresponde, gracias al intercambio térmico controlado realizado en el intercambiador 71, a la temperatura del material que constituye el extremo correspondiente del nivel magnetocalórico 310 que ha sufrido un enfriamiento. El fluido sale del nivel magnetocalórico 310 con una temperatura de 8°C, después se lleva hasta la cámara común 313 del pistón 312. Simultáneamente, el fluido que sale a la temperatura T_{sf} de 0°C del nivel magnetocalórico 211 que ha sufrido un enfriamiento, atraviesa el intercambiador térmico 61 del circuito de transferencia 6 frío e integra el nivel magnetocalórico 311 a la

temperatura Tef de 2°C, que corresponde a la temperatura del material que constituye el extremo correspondiente del nivel magnetocalórico 311 que ha sufrido un calentamiento. El fluido caloportador sale del nivel magnetocalórico 311 con una temperatura de 12°C, después se lleva hasta la cámara común 313 del pistón 312 y se mezcla con el fluido procedente del nivel magnetocalórico 311. La temperatura media TM del fluido de esta cámara común corresponde, por lo tanto, a 10°C.

Durante la fase siguiente representada en la figura 4, al final del calentamiento del nivel magnetocalórico 310 debido a la aplicación de un campo magnético, el fluido que entra en este nivel magnetocalórico 310 está a la temperatura de 10°C (que corresponde a la temperatura de la cámara común 313 y a la del material que constituye el extremo correspondiente del nivel magnetocalórico 310 que ha sufrido una elevación de temperatura de 2°C debido al efecto magnetocalórico). El fluido sale de este nivel magnetocalórico 310 a la temperatura Tsf de 20°C, atraviesa el intercambiador térmico 71 y entra en el nivel magnetocalórico 210 a la temperatura Tef de 18°C, que corresponde a la temperatura del material que constituye el extremo correspondiente de este nivel magnetocalórico 210 que ha sufrido un ciclo de enfriamiento. El fluido sale de este nivel magnetocalórico 210 a la temperatura de 8°C, y después se lleva hasta la cámara común 213 del pistón 212. Simultáneamente, el fluido que entra en el nivel magnetocalórico 311 está a la temperatura de 10°C (que corresponde a la temperatura de la cámara 313 del pistón 312 y a la del material que constituye el extremo correspondiente del nivel magnetocalórico 311 que ha sufrido una disminución de temperatura de 2°C debido al efecto magnetocalórico). El fluido sale de este nivel magnetocalórico 311 a la temperatura Tsf de 0°C, atraviesa el intercambiador térmico 61 y entra en el nivel magnetocalórico 211 a la temperatura Tef de 2°C, que corresponde a la temperatura del material que constituye el extremo correspondiente del nivel magnetocalórico 211 que ha sufrido un calentamiento. El fluido sale del nivel magnetocalórico 211 a la temperatura de 12°C, y después se lleva hasta la cámara común 213 del pistón 212. La temperatura media del fluido en esta cámara común 213 corresponde, por lo tanto, a 10°C.

Se constata que, gracias a la invención, el paso del fluido caloportador por los intercambiadores térmicos 61, 71 permite poner este fluido a una temperatura que corresponde sustancialmente a la temperatura del material que forma el extremo del nivel magnetocalórico que atravesará el fluido. De esta manera, el intercambiador térmico con las aplicaciones exteriores, tanto en el lado caliente como en el lado frío, no tiene incidencia sobre el gradiente térmico del generador térmico 1 y no genera por lo tanto ninguna pérdida térmica, como es el caso en los generadores similares conocidos. Por supuesto, es necesario aislar térmicamente el circuito fluido para garantizar este resultado.

Además, esta configuración con dos módulos magnetocalóricos 2 y 3 unidos a nivel de sus extremos por unos circuitos de transferencia frío 6 y caliente 7, asociada a una distribución de fluido realizada únicamente entre los niveles magnetocalóricos 210, 211, 310, 311, permite obtener sustancialmente la misma temperatura de fluido en las cámaras 213 y 313 de los pistones 212 y 312.

Además, de manera general, esta configuración con unos módulos magnetocalóricos unidos a nivel de sus extremos por unos circuitos de transferencia frío 6 y caliente 7 permite realizar un generador térmico cuyo volumen se optimiza y reduce. En efecto, esta configuración permite integrar los niveles magnetocalóricos situados en un mismo lado caliente o frío de varios módulos magnetocalóricos en unos soportes comunes, por ejemplo realizados en forma de discos.

Para este propósito, la figura 4' representa el generador térmico 1 según la invención en el que dos discos de soporte D1 y D2 están representados esquemáticamente y soportan los niveles magnetocalóricos 210 y 310, respectivamente 211 y 311, que pertenecen a los dos módulos. El sistema magnético 8 está representado de manera esquemática en las figuras, y más particularmente en la figura 4'. En efecto, los discos D1 y D2 que soportan los niveles magnetocalóricos son fijos y la variación del campo magnético se realiza por el desplazamiento de un conjunto de imanes permanentes. Estos últimos se encuentran por lo tanto posicionados a ambos lados de los niveles magnetocalóricos, en el exterior de los discos D1 y D2, a la izquierda y a la derecha de los niveles magnetocalóricos, y no encima o debajo como se representa en las figuras.

El generador térmico 1 comprende preferentemente más de dos módulos térmicos 2, 3 y el conjunto de los niveles magnetocalóricos se monta en los dos discos de soporte D1 y D2. Así, los niveles unidos al circuito de transferencia frío 6 están integrados en un disco D2 y los niveles unidos al circuito de transferencia caliente 7 están integrados en un disco D1. Estos dos discos D1 y D2 forman así las dos ramificaciones caliente y fría montadas en paralelo en dicho generador. Se obtiene así un generador térmico 1 eficaz y compacto.

En la figura 5 se representa una variante de realización. El generador térmico 10 presenta un ensamblaje de dos módulos magnetocalóricos 4 y 5 que comprenden cada uno tres sub-módulos magnetocalóricos 41, 42, 43, y 51, 52, 53, unidos en paralelo entre sí en los módulos 4, 5 correspondientes. Los dos módulos magnetocalóricos 4 y 5 están unidos por un circuito de transferencia 6 frío en sus extremos fríos F4 y F5 y por un circuito de transferencia 7 caliente en sus extremos calientes C4 y C5. Dos pistones de simple efecto 412 y 512 ponen en circulación el fluido caloportador a través del generador térmico 10. Para este propósito, la cámara 413, respectivamente 513, de cada pistón 412, respectivamente 512, está unida a todos los niveles magnetocalóricos

410, 411, 420, 421, 430, 431 respectivamente 510, 511, 520, 521, 530, 531, de un módulo magnetocalórico 4, respectivamente 5. Esta configuración, aunque comprenda más niveles magnetocalóricos, sigue siendo compacta, y no necesita más medios de accionamiento del fluido caloportador que el generador térmico 1 de las figuras 3 y 4 y presenta las mismas ventajas que las descritas en relación con dicho generador térmico 1. También en este caso, todos los niveles magnetocalóricos 410, 420, 430, 510, 520, 530, respectivamente 411, 421, 431, 511, 521, 531 pueden estar montados en dos discos de soporte no representados con el fin de optimizar el volumen de espacio del generador térmico 10.

Otra variante de realización se representa en la figura 6. Ilustra un generador térmico 100 que se distingue del generador térmico 10 de la figura 5 por el medio de accionamiento del fluido caloportador. En efecto, un único pistón 422 pone en circulación el fluido caloportador a través de este generador térmico 100. Este pistón 422 es de doble efecto y comprende dos cámaras 423 y 523, de las cuales cada una está unida a todos los niveles magnetocalóricos 410, 411, 420, 421, 430, 431, respectivamente 510, 511, 520, 521, 530, 531 de un módulo magnetocalórico 4, respectivamente 5. En otras palabras, un único medio de accionamiento en forma de un pistón de doble efecto 422, del cual cada cámara 423, 523 comunica con todos los niveles magnetocalóricos 410, 411, 420, 421, 430, 431, 510, 511, 520, 521, 530, 531 de los dos módulos magnetocalóricos 4, 5, realiza la circulación del fluido caloportador. Por lo tanto, aumenta la compacidad del generador térmico 100. Esta configuración es posible ya que, como se ha indicado anteriormente, la temperatura del fluido caloportador es sustancialmente la misma en las dos cámaras 423 y 523 del pistón 422, de manera que los puentes térmicos existentes entre las dos cámaras 423 y 523 adyacentes estarán muy limitados (menos de 0,1°C) y no tendrán ningún efecto negativo sobre el rendimiento del generador térmico 100. Por supuesto, este generador térmico 100 presenta las mismas ventajas que las descritas con respecto al generador térmico 10 representado en la figura 5. También en este caso, todos los niveles magnetocalóricos respectivamente 410, 420, 430, 510, 520, 530, respectivamente 411, 421, 431, 511, 521, 531 pueden estar montados en dos discos de soporte con el fin de optimizar el volumen de espacio del generador térmico 100.

El generador térmico 1' representado en la figura 7 es una variante del generador térmico 1 de las figuras 3 y 4. Presenta las mismas ventajas que este último y se distingue esencialmente por la presencia de varios niveles magnetocalóricos 610, 610', 611, 611', 710, 710', 711, 711' en cada uno de los dos módulos térmicos 2', 3' representados. En esta variante también los módulos térmicos 2' y 3' comprenden un único sub-módulo 21', 31'. Aunque no esté ilustrado, la invención considera también realizar unos módulos 2', 3' que comprenden varios sub-módulos. El hecho de aumentar el número de niveles magnetocalóricos permite aumentar el gradiente de temperatura obtenido en el régimen establecido entre los extremos calientes C6, C7 y fríos F6, F7 del generador térmico. Para este propósito, en los sub-módulos 2', 21' y 3', 31', los niveles están reagrupados en dos grupos de niveles G1, G2 y G3, G4 y unidos en serie. Para optimizar aún más el gradiente térmico, los niveles magnetocalóricos 610, 610', 611, 611', 710, 710', 711, 711' de cada módulo 2', 3' comprenden unos materiales magnetocalóricos cuyas temperaturas de Curie son diferentes y crecientes desde el extremo frío F6, F7 hacia el extremo caliente C6, C7 correspondiente.

En este caso también, todos los niveles magnetocalóricos 610, 610', 611, 611', 710, 710', 711, 711' pueden estar montados en unos discos de soporte con el fin de optimizar el volumen de espacio del generador térmico 1'. El generador térmico 1' representado en la figura 7 comprende para este propósito cuatro discos representados esquemáticamente e identificados por las referencias D3, D4, D5, D6.

Para aumentar aún más la compacidad del generador térmico, es posible montar los niveles magnetocalóricos 610, 610', 710, 710', respectivamente 611, 611', 711, 711' en dos discos únicamente, a saber los discos D7 y D8 representados esquemáticamente en la figura 8.

La figura 9 representa un generador térmico 1" según otra variante de la representada en la figura 7, en la que están dispuestos en serie unos intercambiadores térmicos intermedios 81, 91 en el circuito fluido, entre las etapas magnetocalóricas 610 y 610', 710 y 710', respectivamente 611 y 611', 711 y 711', formando dichos grupos G1, G2. Estos intercambiadores térmicos intermedios 81, 91 pueden estar, por ejemplo, unidos a un dispositivo con efecto Peltier o análogo, y son aptos para modificar la temperatura de dichos niveles magnetocalóricos 610, 610', 611, 611', 710, 710', 711, 711'. Estos intercambiadores térmicos intermedios 81, 91 pueden realizar un intercambio térmico de manera continua, o durante una parte solamente del ciclo de funcionamiento del generador térmico 1". Pueden así tener por objeto pre-enfriar o poner a temperatura inicial óptima los niveles magnetocalóricos 611, 611', 711, 711' situados en el lado del circuito de intercambio frío 6 al inicio del generador térmico 1" de manera que dichos niveles alcancen más rápidamente una temperatura próxima a su temperatura de Curie, a saber, la temperatura a la cual su efecto magnetocalórico es el más importante. De la misma manera, los intercambiadores térmicos intermedios 81 montados en el lado del circuito de intercambio caliente 7 pueden servir para pre-calentar o poner a temperatura inicial óptima los niveles magnetocalóricos 610, 610', 710, 710' situados en el lado del circuito de intercambio caliente 7 al inicio del generador térmico 1", de manera que dichos niveles alcancen más rápidamente una temperatura próxima a su temperatura de Curie, a saber la temperatura a la cual su efecto magnetocalórico es el más importante. Esta colocación a temperatura inicial óptima permite obtener más rápidamente el régimen establecido, en el que se alcanza el gradiente de temperatura entre el lado caliente y el lado frío del generador térmico 1". Esto permite aumentar la potencia útil disponible del generador

térmico 1". En una variante de realización no ilustrada, los intercambiadores térmicos intermedios 81 situados en el lado del circuito de intercambio frío 6 pueden estar unidos en serie con el intercambiador térmico frío 61 y los intercambiadores térmicos intermedios 91 situados en el lado del circuito de intercambio caliente 7 pueden estar unidos en serie con el intercambiador térmico caliente 71.

5

Un generador térmico 1, 10, 100, 1', 1" tal como se describe permite, de esta manera, optimizar al mismo tiempo sus intercambios térmicos y su volumen, mejorando al mismo tiempo sus rendimientos con respecto a la técnica anterior.

10 Posibilidades de aplicación industrial

Destaca claramente de esta descripción que la invención permite alcanzar los objetivos fijados, es decir intercambiar energía térmica con el exterior del generador térmico magnetocalórico sin degradar la energía disponible ni el gradiente de temperatura en los diferentes niveles magnetocalóricos, con el fin de mejorar el rendimiento del generador. Esto resulta posible por la presencia de la unión fluidica y del intercambio térmico controlado entre los dos módulos magnetocalóricos 2 y 3, 2' y 3', así como 4 y 5, trabajando en oposición y unidos en sus extremos calientes C2, C3, C4, C5, C6, C7 y fríos F2, F3, F4, F5, F6, F7 por un circuito de transferencia caliente 7 y un circuito de transferencia frío 6 que permite intervenir de manera apropiada sobre la temperatura del fluido caloportador.

20

Además, el generador térmico 1, 10, 100, 1', 1" según la invención presenta un volumen limitado y necesita menos componentes para la circulación del fluido caloportador que los generadores conocidos de la técnica anterior, y por lo tanto menos energía para accionar estos medios de accionamiento. Además, el generador según la invención permite también optimizar su rendimiento evitando los efectos negativos de los puentes térmicos en los medios de accionamiento del fluido caloportador.

25

La presente invención no está limitada a los ejemplos de realización descritos, sino que se extiende a cualquier modificación y variante evidentes para un experto en la materia, permaneciendo al mismo tiempo en la extensión de la protección definida en las reivindicaciones adjuntas. En particular, aunque los ejemplos de realización descritos comprenden un único ensamblaje de dos módulos magnetocalóricos 2, 3, 4, 5, 2', 3', la invención considera también la posibilidad de aumentar el número de ensamblajes en un mismo generador, para aumentar la potencia térmica de este último o la diferencia de temperatura entre sus extremos caliente y frío.

30

REIVINDICACIONES

1. Generador térmico magnetocalórico (1, 10, 100, 1', 1") que comprende por lo menos un ensamblaje de por lo menos dos módulos magnetocalóricos (2, 3, 4, 5, 2', 3') atravesados por un fluido caloportador puesto en circulación por unos medios de accionamiento (212, 312, 412, 512, 422, 212', 312'), caracterizado por que cada módulo magnetocalórico (2, 3, 4, 5, 2', 3') comprende por lo menos dos niveles magnetocalóricos (210, 211, 310, 311, 410, 411, 420, 421, 430, 431, 510, 511, 520, 521, 530, 531, 610, 610', 611, 611', 710, 710', 711, 711') de material(es) magnetocalórico(s), estando dichos por lo menos dos niveles de cada módulo constantemente en una fase magnética diferente, por que dichos medios de accionamiento (212, 312, 412, 512, 422) del fluido caloportador están dispuestos entre dichos por lo menos dos niveles de cada módulo magnetocalórico para unirlos fluidicamente entre sí, por que los niveles magnetocalóricos (210, 211, 310, 311, 410, 411, 420, 421, 430, 431, 510, 511, 520, 521, 530, 531, 610, 610', 611, 611', 710, 710', 711, 711') están constituidos por unos materiales magnetocalóricos dispuestos para que el efecto magnetocalórico sea sustancialmente el mismo en todos los niveles magnetocalóricos, por que los extremos fríos (F2, F3, F4, F5, F6, F7) de dichos módulos magnetocalóricos (2, 3, 4, 5, 2', 3') están unidos fluidicamente por un circuito de transferencia frío (6) atravesado por dicho fluido caloportador y destinado a intercambiar térmicamente por medio de un intercambiador térmico (61) con un circuito externo, por que los extremos calientes (C2, C3, C4, C5, C6, C7) de dichos módulos magnetocalóricos (2, 3, 4, 5, 2', 3') están unidos fluidicamente por un circuito de transferencia caliente (7) atravesado por dicho fluido caloportador y destinado a intercambiar térmicamente por medio de un intercambiador térmico (71) con un circuito externo, y por que los intercambiadores térmicos (61, 71) están parametrizados para que la diferencia de la temperatura de entrada y de salida del fluido caloportador en dichos intercambiadores (61, 71) sea sustancialmente igual a la variación de temperatura del fluido caloportador en contacto con un nivel magnetocalórico (210, 211, 310, 311, 410, 411, 420, 421, 430, 431, 510, 511, 520, 521, 530, 531, 610, 610', 611, 611', 710, 710', 711, 711') que sufre el efecto magnetocalórico.
2. Generador según la reivindicación 1, caracterizado por que dichos módulos magnetocalóricos (2, 3, 4, 5, 2', 3') comprenden por lo menos dos sub-módulos magnetocalóricos (21, 31, 41, 42, 43, 51, 52, 53, 21', 31') que comprenden cada uno por lo menos dos niveles magnetocalóricos (210, 211, 310, 311, 410, 411, 420, 421, 430, 431, 510, 511, 520, 521, 530, 531, 610, 610', 611, 611', 710, 710', 711, 711') y por que, en dichos módulos magnetocalóricos (2, 3, 4, 5, 2', 3'), dichos sub-módulos magnetocalóricos (21, 31, 41, 42, 43, 51, 52, 53, 21', 31') están montados en paralelo.
3. Generador según una de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que dicho sub-módulo (21', 31') comprende por lo menos dos grupos (G1, G2) de niveles magnetocalóricos (610, 610', 611, 611'; 710, 710', 711, 711'), estando dichos grupos (G1, G2) unidos fluidicamente entre sí por un medio de accionamiento del fluido caloportador (212', 312'), y por que, en cada grupo (G1, G2, G3, G4), los niveles magnetocalóricos (610, 610', 611, 611'; 710, 710', 711, 711') están unidos en serie.
4. Generador según la reivindicación 3, caracterizado por que un intercambiador térmico intermedio (81, 91) está dispuesto entre dos niveles magnetocalóricos (610 y 610', 710 y 710', respectivamente 611 y 611', 711 y 711') consecutivos de dichos grupos (G1, G2).
5. Generador según la reivindicación 4, caracterizado por que dicho intercambiador térmico intermedio (81, 91) está unido al intercambiador térmico (61, 71) de uno de dichos circuitos de transferencia (6, 7).
6. Generador según la reivindicación 4 o 5, caracterizado por que los intercambiadores térmicos intermedios (81) de los grupos (G1, G3) unidos al circuito de transferencia frío (6) están unidos entre sí, y por que los intercambiadores térmicos intermedios (91) de los grupos (G2, G4) unidos al circuito de transferencia caliente (7) están unidos entre sí.
7. Generador (1, 10) según una de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que dichos medios de accionamiento (212, 312, 412, 512) están realizados en forma de pistones de simple efecto, y por que la cámara (213, 313, 413, 513) de cada pistón está unida fluidicamente a dichos niveles magnetocalóricos (201, 211, 310, 311, 410, 411, 420, 421, 430, 431; 510, 511, 520, 521, 530, 531) de un módulo magnetocalórico (2, 3, 4, 5).
8. Generador (100) según una de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que dichos medios de accionamiento (422) están realizados en forma de un pistón de doble efecto, y por que cada cámara (423, 523) de dicho pistón (422) está unida fluidicamente a dichos niveles (410, 411, 420, 421, 430, 431; 510, 511, 520, 521, 530, 531) de un módulo magnetocalórico (4, 5).
9. Generador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende un sistema magnético dispuesto para someter los niveles magnetocalóricos (210, 211, 310, 311, 410, 411, 420, 421, 430, 431, 510, 511, 520, 521, 530, 531, 610, 610', 611, 611', 710, 710', 711, 711') a un campo magnético variable para que los niveles magnetocalóricos (211, 311, 411, 421, 431, 511, 521, 531) situados en el extremo frío (F2, F3, F4, F5) y los niveles magnetocalóricos (410, 420, 430, 510, 520, 530) situados en el extremo caliente (C2, C3, C4, C5) estén constantemente en una fase de calentamiento o de enfriamiento.

10. Generador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los niveles magnetocalóricos están montados en unos soportes en forma de discos (D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D7', D8'), comprendiendo cada soporte por lo menos un nivel magnetocalórico (210, 211, 310, 311, 410, 411, 420, 421, 430, 431, 510, 511, 520, 521, 530, 531, 610, 610', 611, 611', 710, 710', 711, 711') de cada módulo magnetocalórico (2, 3, 4, 5, 2', 3').

11. Generador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que dichos medios de accionamiento están unidos entre unos extremos consecutivos de los niveles magnetocalóricos que no están situados a nivel de los lados frío y caliente de los módulos magnetocalóricos.

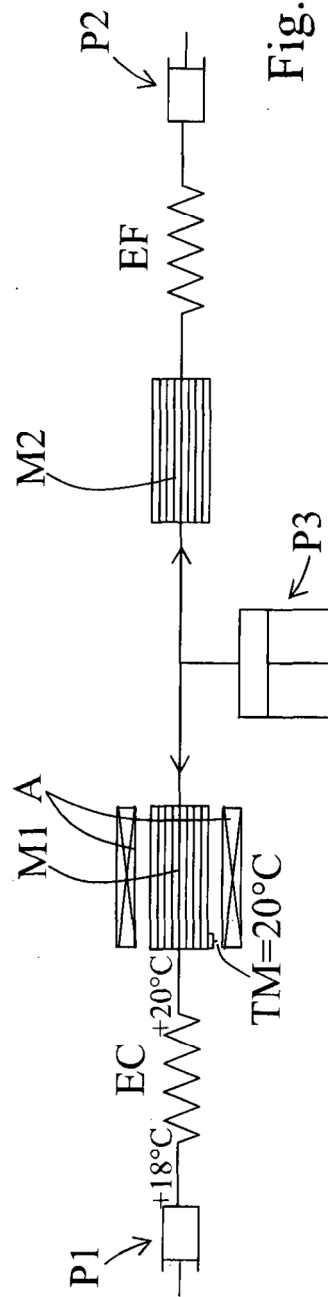


Fig. 1A

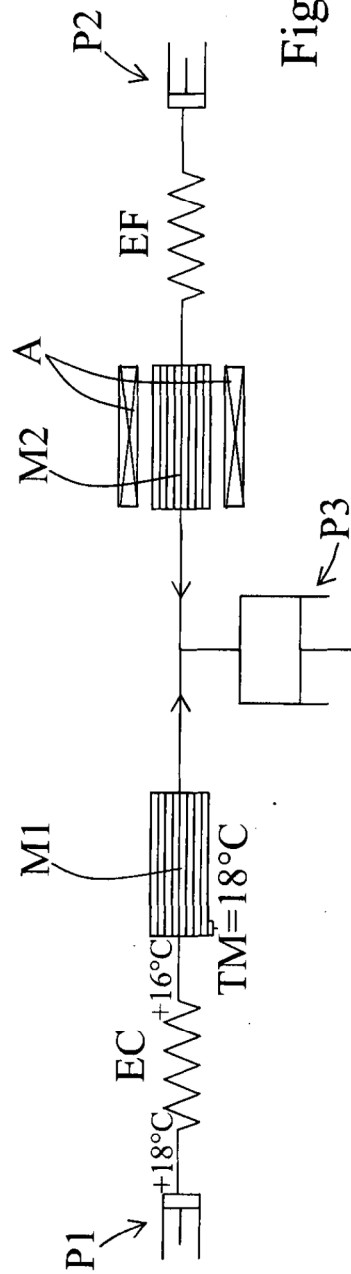


Fig. 1B

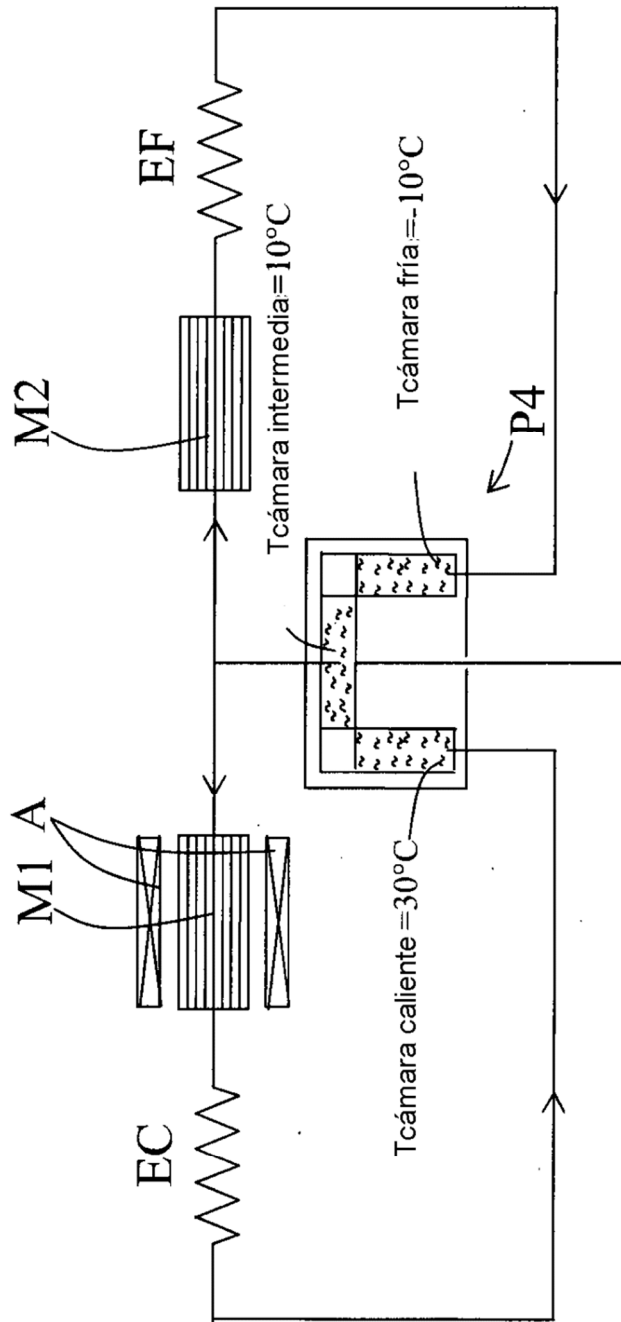


Fig. 2

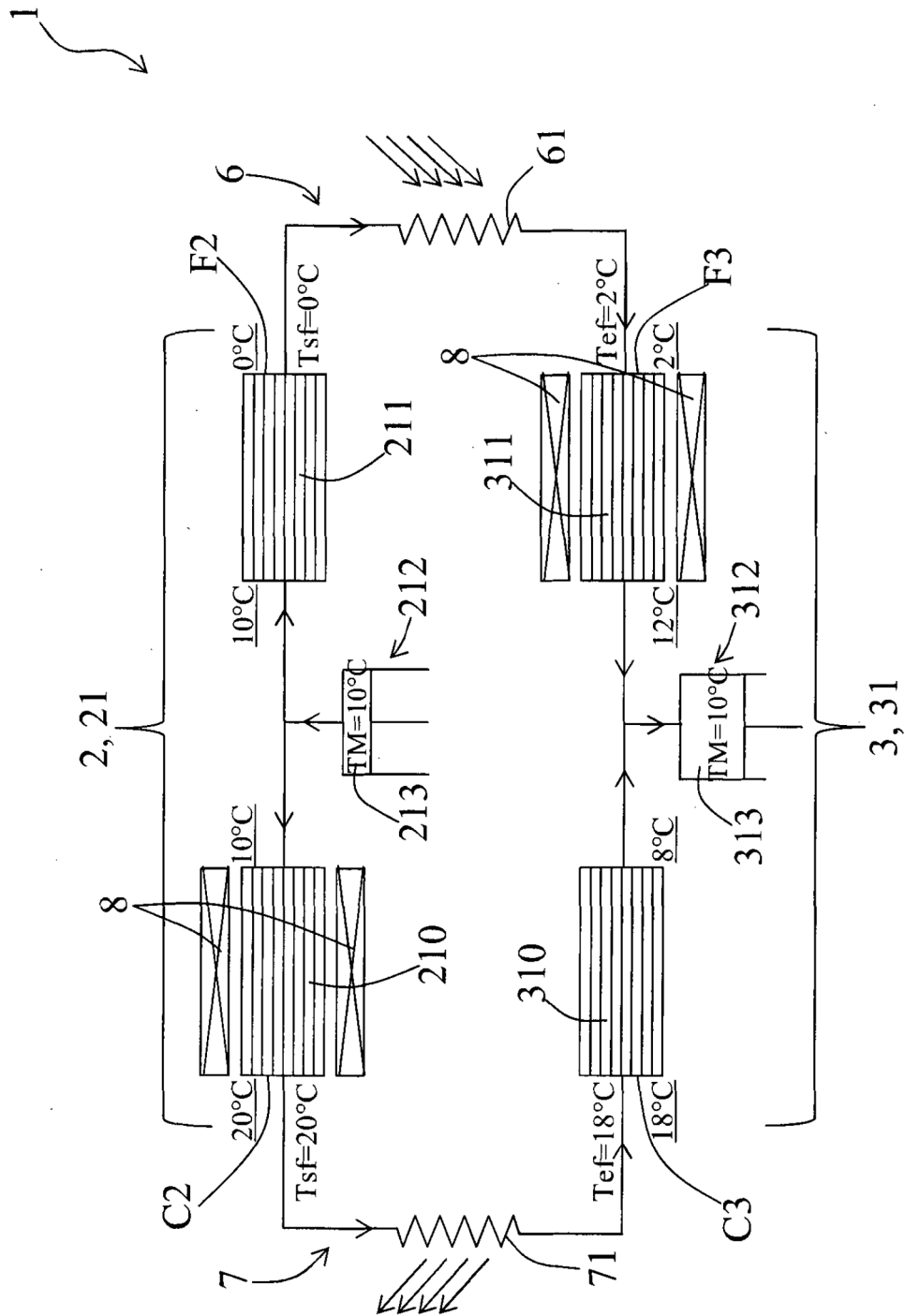


Fig. 3

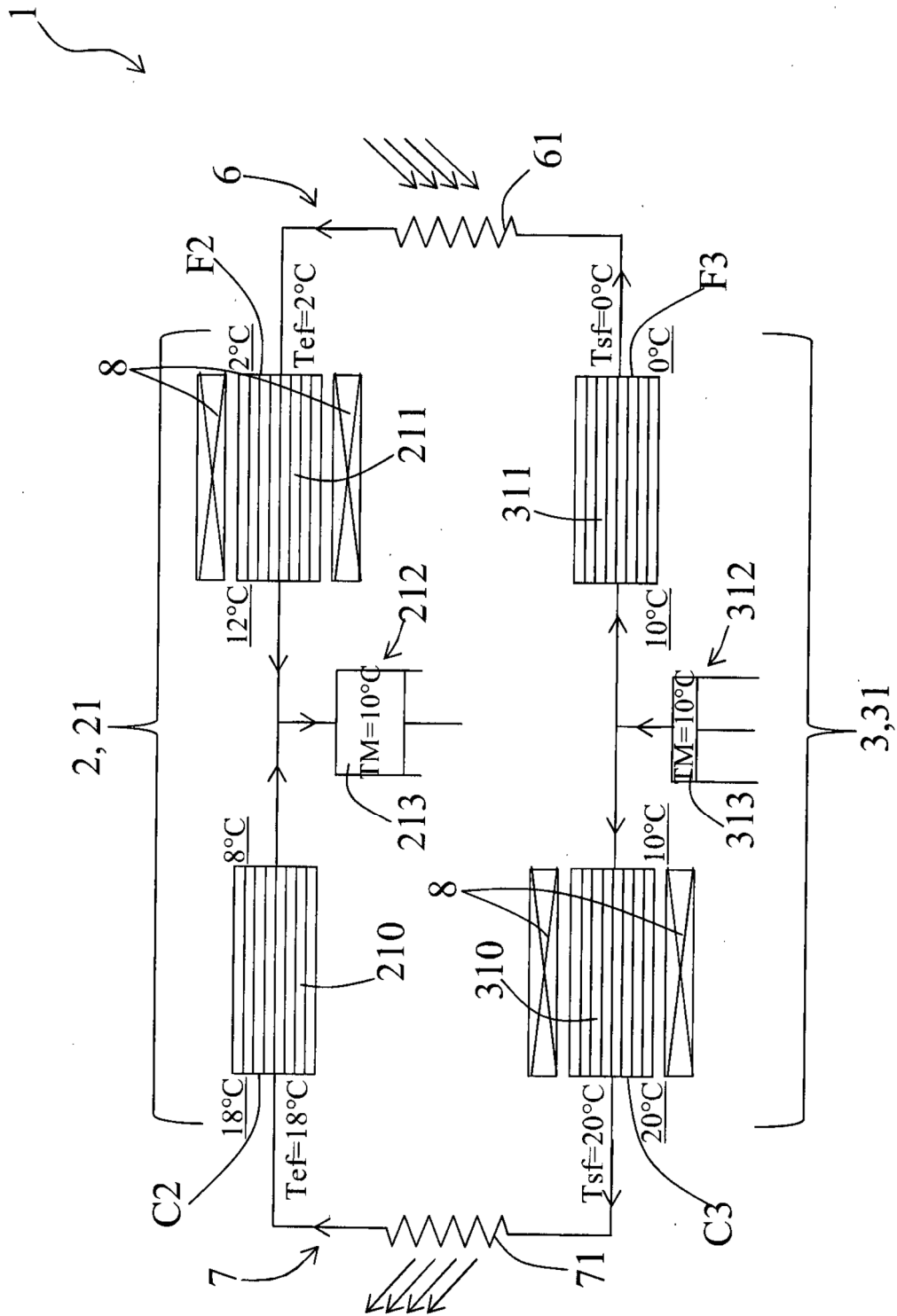


Fig. 4

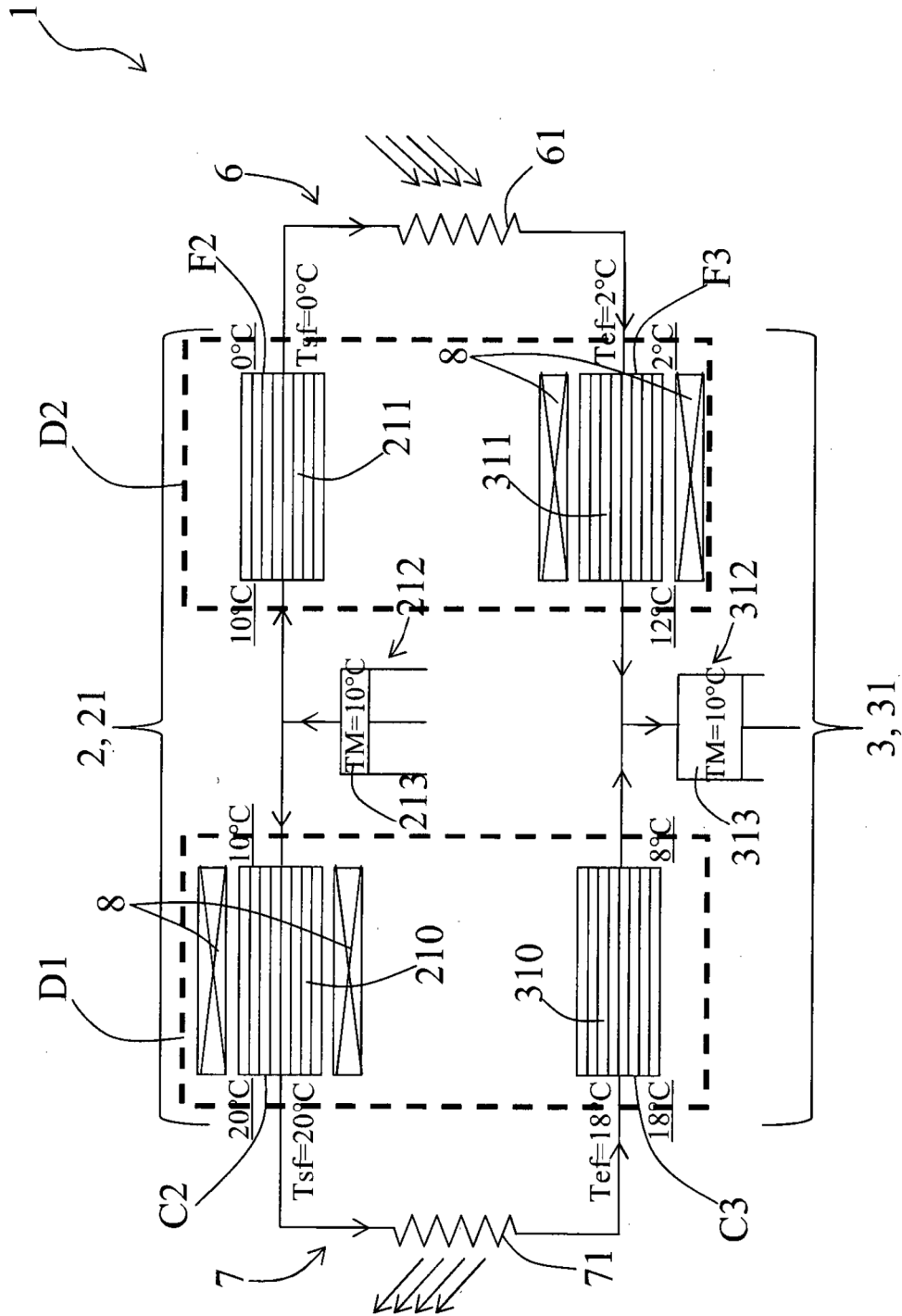


Fig. 4'

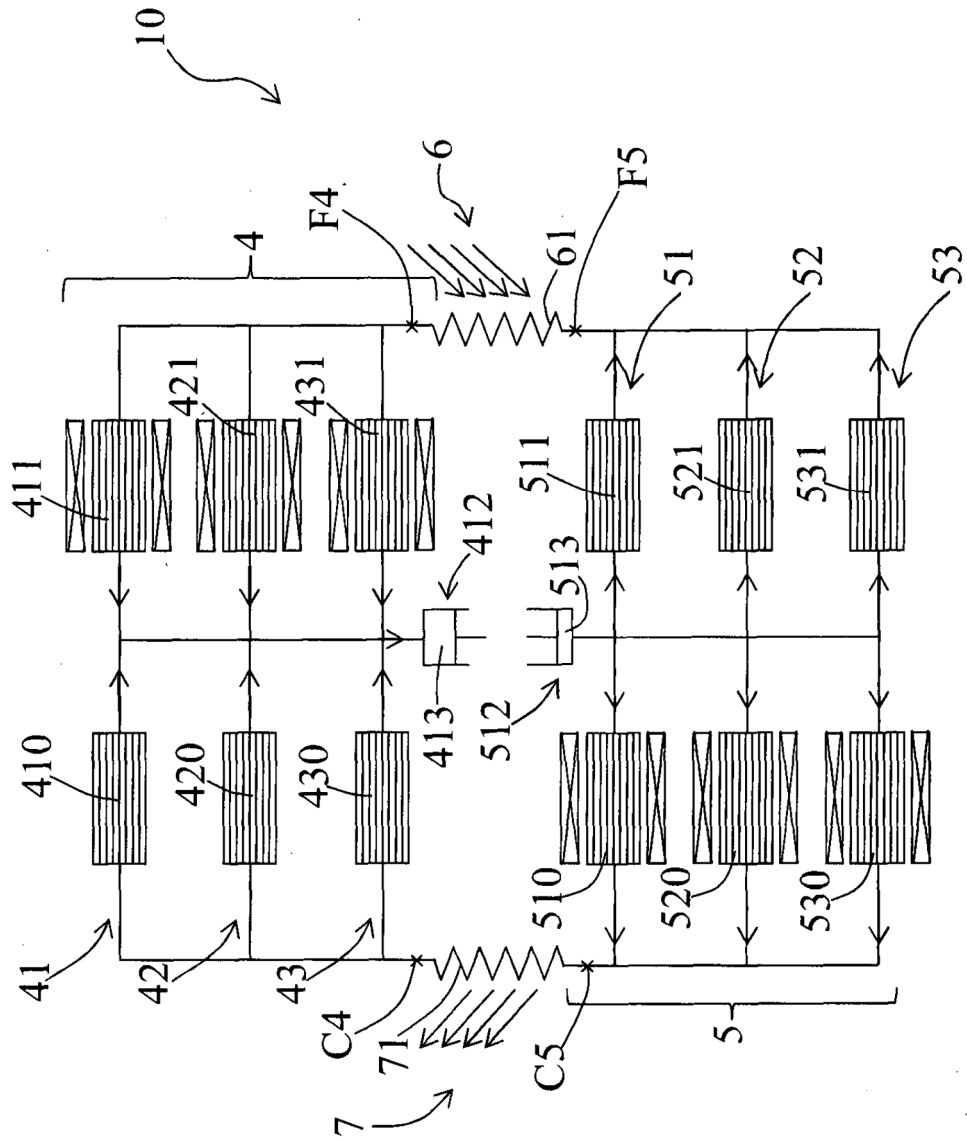


Fig. 5

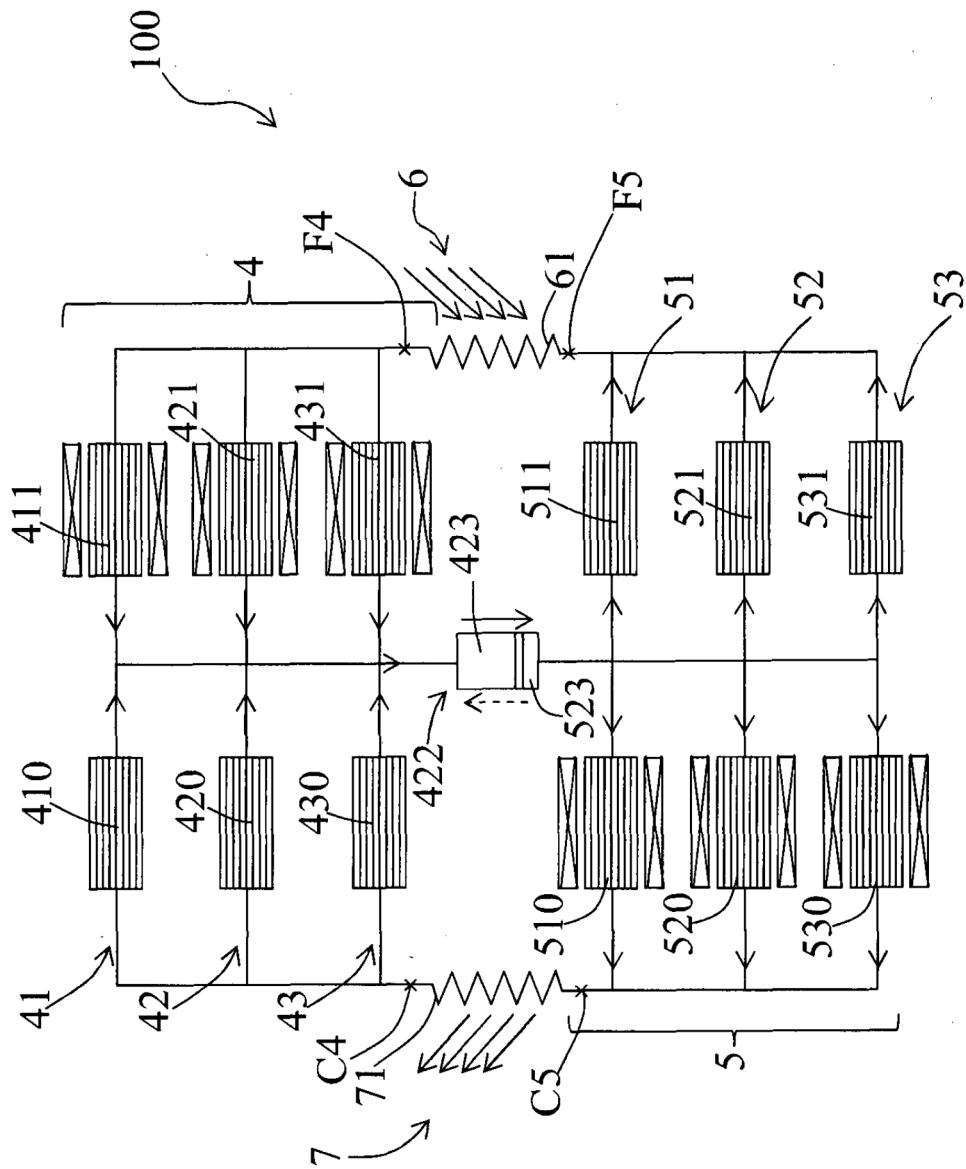


Fig. 6

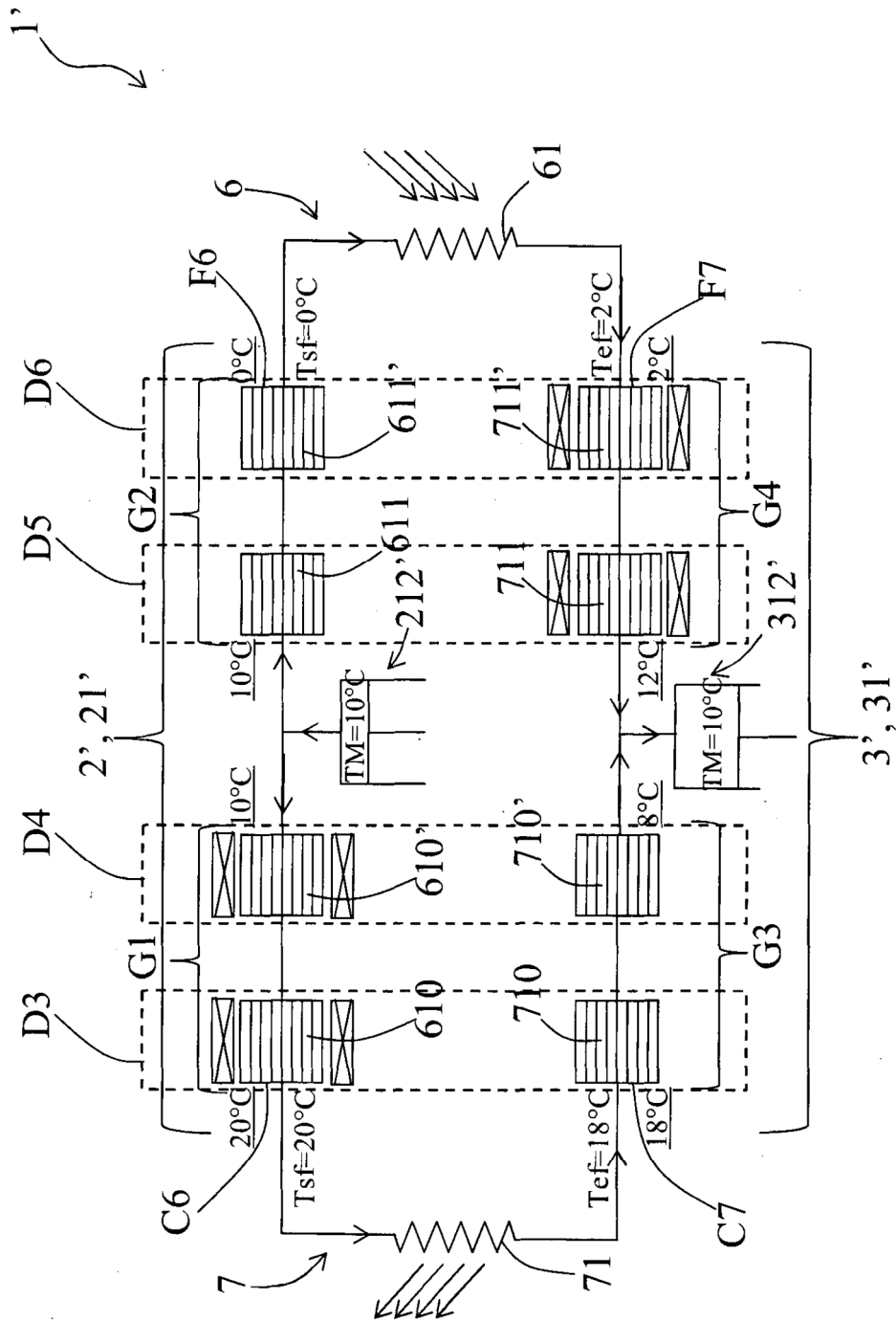


Fig. 7

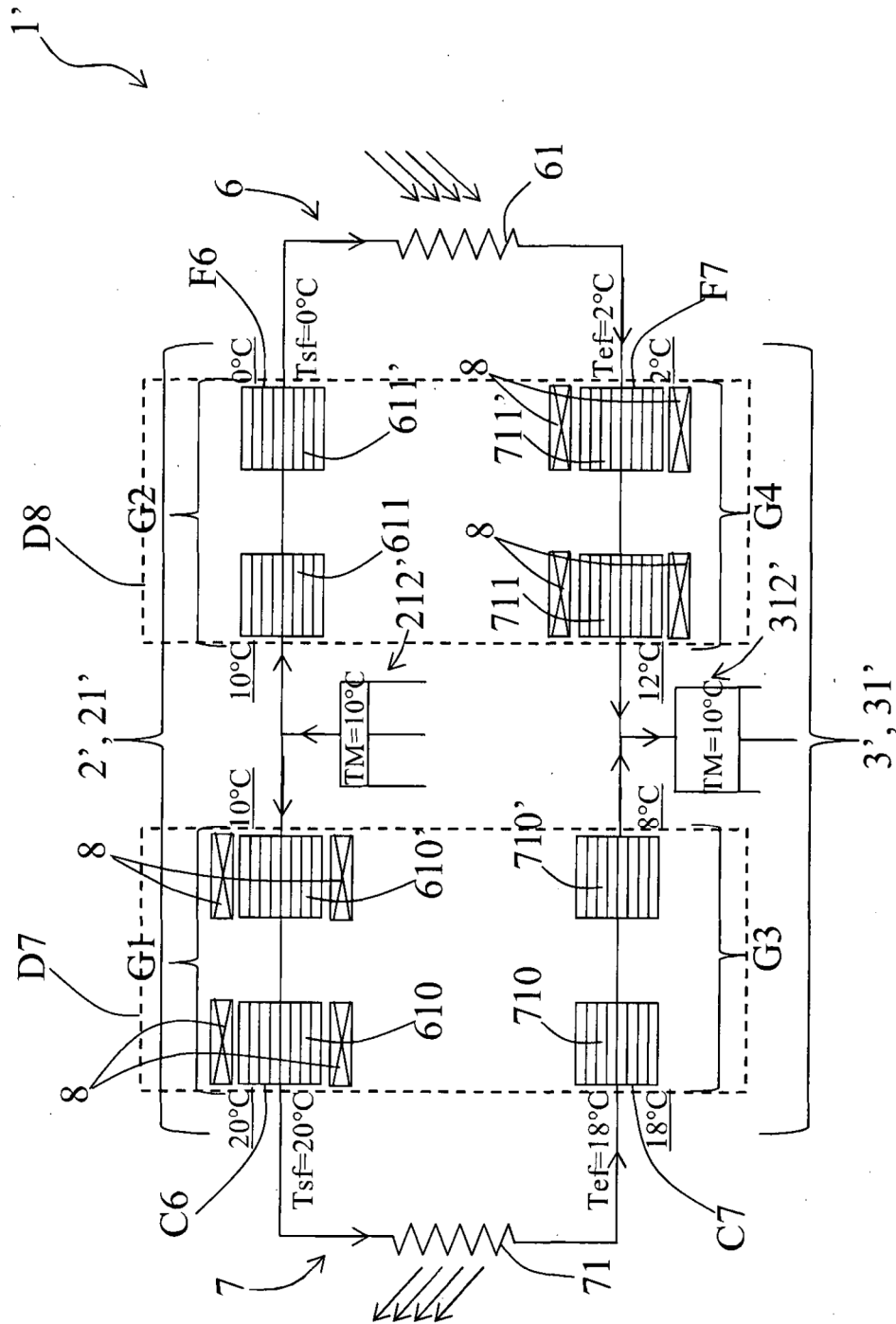


Fig. 8

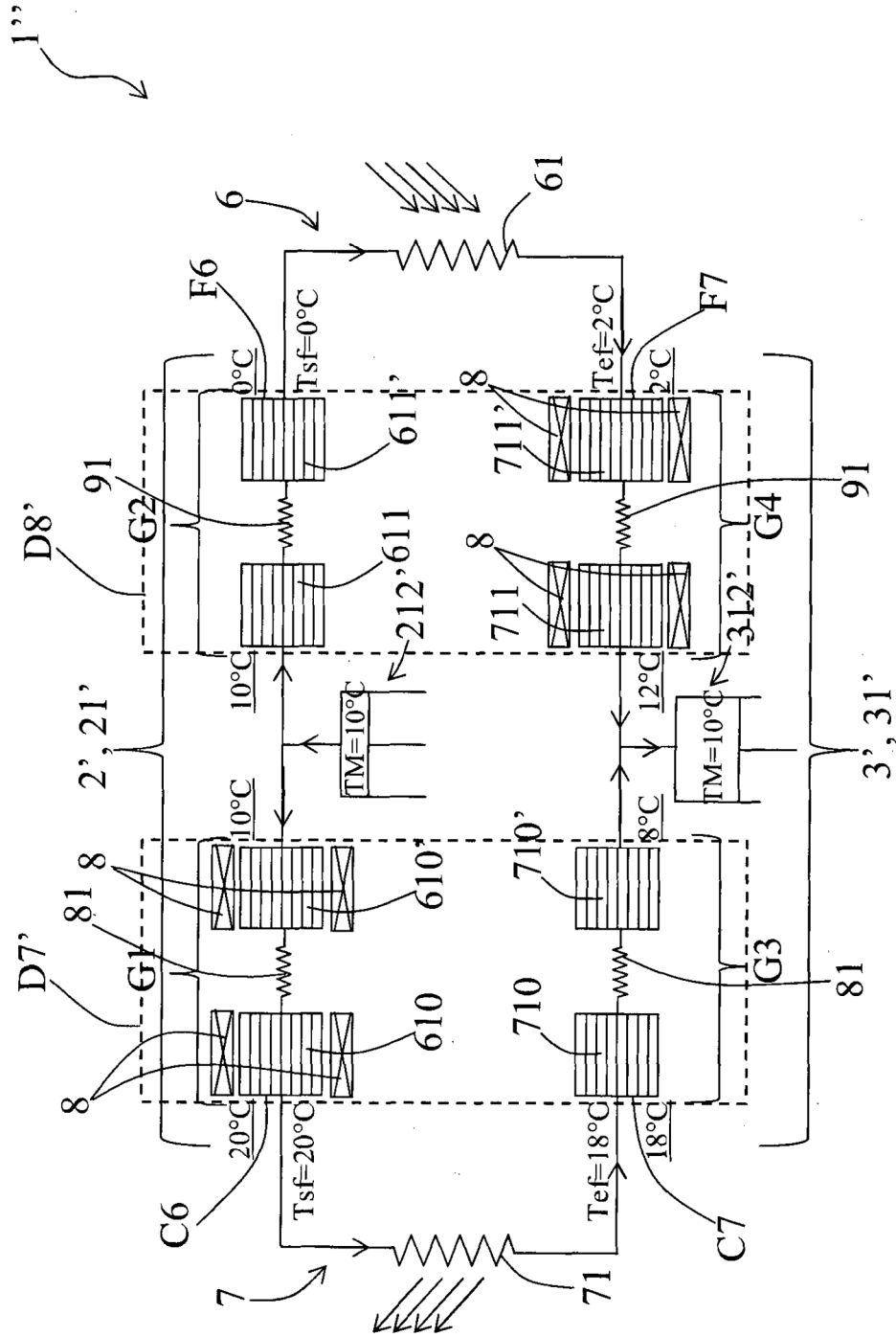


Fig. 9