

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 531 263**

51 Int. Cl.:

F25B 49/00 (2006.01)

F25D 17/02 (2006.01)

F24F 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.05.2010 E 10162899 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.12.2014 EP 2253897**

54 Título: **Procedimiento y sistema para controlar una pluralidad de máquinas frigoríficas**

30 Prioridad:

15.05.2009 IT BO20090313

13.04.2010 IT BO20100225

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

12.03.2015

73 Titular/es:

RHOSS S.P.A. (100.0%)

Arqua' Polesine, IT

72 Inventor/es:

ALBIERI, MICHELE;

BEGHI, ALESSANDRO;

BERTINATO, MARCO;

CECCHINATO, LUCA;

RAMPAZZO, MIRCO y

ZEN, ALESSANDRO

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 531 263 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

Procedimiento y sistema para controlar una pluralidad de máquinas frigoríficas

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y un sistema para controlar una pluralidad de máquinas frigoríficas de una instalación de climatización.

10 En particular, la presente invención está destinada de manera ventajosa, aunque no exclusivamente, a usarse para controlar instalaciones HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) domésticas que comprenden una pluralidad de máquinas frigoríficas que consisten en enfriadores de fluido y/o bombas de calor hidráulicas conectados en paralelo, a las que la siguiente descripción se refiere específicamente pero sin perder su carácter general.

15 En la técnica anterior se conocen instalaciones de climatización (véase, por ejemplo, el documento de patente US-A-4463574) que comprenden una pluralidad de máquinas frigoríficas conectadas en paralelo y una o más unidades de convección, por ejemplo ventilosconvectores o radiadores de agua corrientes, dispuestas de manera apropiada en un edificio en el que va a controlarse el acondicionamiento de aire y conectadas de manera hidráulica a las máquinas frigoríficas a través de un circuito hidráulico, dentro del cual fluye un fluido de servicio, consistiendo dicho fluido en un refrigerante basado en agua, y presentando dicho circuito un conducto de suministro dentro del cual el fluido de servicio fluye desde las máquinas frigoríficas hasta las unidades de convección, y un conducto de retorno dentro del cual el fluido de servicio fluye en sentido contrario.

20 Dicha instalación de climatización comprende una pluralidad de bombas, cada una de las cuales está conectada a una máquina frigorífica respectiva para hacer que el fluido de servicio fluya a través de dicha máquina cuando está encendida, y al menos una bomba adicional dispuesta en el conducto de suministro para distribuir un flujo constante del fluido de servicio a las unidades de convección. El circuito hidráulico comprende normalmente un conducto de desviación que conecta el conducto de suministro, aguas arriba de la bomba de distribución, directamente al conducto de retorno para desconectar, en lo que se refiere al flujo de fluido de servicio, la parte de la instalación con las máquinas frigoríficas con respecto a la parte con las unidades de convección. Normalmente, cada máquina frigorífica puede tener un funcionamiento de carga parcial, es decir, puede proporcionar una capacidad de enfriamiento según una pluralidad de etapas de capacidad.

25 La instalación de climatización comprende un sistema de control para controlar el funcionamiento de las máquinas frigoríficas. En la técnica anterior se conocen sistemas de control que comprenden un sensor de temperatura para medir la temperatura de suministro o la temperatura de retorno del fluido de servicio y una unidad de control para controlar el encendido y/o el funcionamiento de carga parcial de las máquinas frigoríficas de modo que la temperatura medida siga un punto de ajuste prefijado que es el mismo en toda la instalación.

30 En la técnica anterior se conocen dos procedimientos para controlar las máquinas frigoríficas. En un primer procedimiento, una máquina frigorífica adicional se enciende solamente si aquéllas que ya están encendidas ya están funcionando a su máxima capacidad de enfriamiento. Este procedimiento también se conoce como la "estrategia de saturación de máquina". En el segundo procedimiento, todas las máquinas frigoríficas se llevan a la misma etapa de capacidad antes de llevar otra máquina frigorífica a la siguiente etapa de capacidad. Este procedimiento también se conoce como la "estrategia de saturación por etapas".

35 40 Sin embargo, ninguna de las estrategias anteriores consigue una eficacia energética óptima, ya que no sacan partido de la máxima eficacia de cada máquina frigorífica. Cada máquina frigorífica tiene un nivel de eficacia, expresado como la relación entre la capacidad de enfriamiento suministrada y la potencia eléctrica consumida, que varía con el porcentaje del funcionamiento de carga parcial y que tiene un valor máximo para un porcentaje del funcionamiento de carga parcial que es normalmente inferior al 100% y que depende del número de compresores activos en la máquina frigorífica, la arquitectura del circuito hidráulico y la lógica de control de la máquina. Además, las máquinas frigoríficas puede diferir entre sí y, por tanto, tienen un valor de máxima eficacia para diferentes porcentajes del funcionamiento de carga parcial.

45 50 El objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento para controlar una pluralidad de máquinas frigoríficas de un sistema de climatización y proporcionar un sistema de control relacionado que superen los inconvenientes descritos anteriormente y que, al mismo tiempo, sean fáciles y económicos de producir.

55 Según la presente invención se proporciona un procedimiento y un sistema de control para controlar una pluralidad de máquinas frigoríficas para una instalación de climatización, como se describe en las reivindicaciones adjuntas.

60 Según la presente invención también se proporciona una instalación de climatización, como se describe en las reivindicaciones adjuntas.

65 Para entender mejor la presente invención, a continuación se describirá una realización no limitativa de la misma a modo de ejemplo con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

- la figura 1 es una ilustración esquemática de una instalación de climatización dotada de un sistema de control que implementa el procedimiento para controlar una instalación de climatización según la presente invención; y
- la figura 2 ilustra un ejemplo de una función que relaciona dos parámetros usados por el procedimiento para controlar una instalación de climatización según la invención.

5 Con referencia a la figura 1, el número de referencia 1 indica de manera genérica una instalación de climatización, en su conjunto, que comprende una pluralidad de máquinas frigoríficas 2 conectadas en paralelo y una o más unidades de convección 3 que consisten, por ejemplo, en ventiloconvectores, y conectadas a las máquinas frigoríficas 2 a través de un circuito hidrónico 4, dentro del cual fluye un fluido de servicio que consiste en un refrigerante basado en agua. El
 10 circuito hidrónico 4 comprende un conducto de suministro principal 5 dentro del cual el fluido de servicio fluye desde las máquinas frigoríficas 2 hasta las unidades de convección 3, y un conducto de retorno principal 6 dentro del cual el fluido de servicio fluye en sentido contrario.

15 La instalación 1 comprende una pluralidad de bombas 7, cada una de las cuales está conectada a una máquina frigorífica respectiva 2 para hacer que el fluido de servicio fluya a través de dicha máquina 2 cuando esta última está encendida, estando dispuesta al menos una bomba adicional 8 en el conducto de suministro 5 para distribuir un flujo constante del fluido de servicio hacia las unidades de convección 3. El circuito hidrónico 4 comprende además un conducto de desviación 9 que conecta un punto 5a del conducto de suministro 5, aguas arriba de la bomba 8, y un punto 6a del conducto de retorno 6 para desconectar, en lo que se refiere al flujo de fluido de servicio, la parte de la instalación
 20 con las máquinas frigoríficas 2 con respecto a la parte con las unidades de convección 3.

25 La instalación 1 comprende un tanque de almacenamiento 10 dispuesto en el conducto de suministro 5 aguas abajo del conducto de desviación 9 para generar una inercia térmica en el circuito hidrónico 4, ralentizando la dinámica de la instalación 1 para impedir cualquier oscilación no deseable en las válvulas de control (no ilustradas) de las unidades de convección 3. Sin embargo, la presencia del tanque de almacenamiento es opcional.

30 Cada una de las máquinas frigoríficas 2 puede tener un funcionamiento de carga parcial, es decir, puede proporcionar una capacidad de enfriamiento según una pluralidad de etapas de capacidad. Por ejemplo, cada máquina frigorífica 2 comprende varios compresores de un tipo conocido que pueden encenderse en un número creciente.

35 La instalación 1 comprende un sistema de control 11 para controlar el funcionamiento de las máquinas frigoríficas 2. El sistema de control 11 implementa el procedimiento para controlar una instalación de climatización de la invención, como se describe posteriormente.

40 El sistema de control 11 comprende medios de detección de temperatura que están dispuestos a lo largo del circuito hidrónico 4 y comprenden un sensor de temperatura 12 para medir una temperatura TDLV del fluido de servicio en el conducto de suministro 5 aguas arriba del conducto de desviación 9, un sensor de temperatura 13 para medir una temperatura TRET del fluido de servicio en el conducto de retorno 6 y un sensor 14 para medir una temperatura TLIN del fluido de servicio en el conducto de suministro 5 aguas abajo del conducto de desviación 9 y, en particular, aguas abajo del tanque de almacenamiento 10.

45 El sistema de control 11 comprende un sensor de caudal convencional 30 para medir el caudal másico del circuito hidrónico 4 en un punto del conducto de retorno 6 aguas abajo del conducto de desviación 9. En la siguiente descripción, la tetra m se usa para indicar dicho caudal másico.

50 El sistema de control 11 comprende además medios de control estructurados en dos niveles y, en particular, medios de control de alto nivel y medios de control de bajo nivel.

55 Los medios de control de alto nivel comprenden una unidad de supervisión 15, por ejemplo un PC configurado para implementar un módulo de estimación de carga 16 adecuado para proporcionar una estimación de la carga térmica PLE del circuito hidrónico 4 en función de las temperaturas TDLV, TRET y TLIN medidas por los sensores 12, 13, 14 y 30, y un módulo de optimización 17 adecuado para determinar valores de estado de funcionamiento ST_i y relaciones de carga parcial PLR_i que se fijarán para las máquinas frigoríficas 2 y para permitir que las máquinas frigoríficas 2 proporcionen una capacidad de enfriamiento global que satisfaga la carga térmica estimada PLE con un consumo mínimo de potencia eléctrica. En la siguiente descripción, el término 'carga parcial' se refiere a una relación entre la capacidad de enfriamiento solicitada de la i -ésima máquina frigorífica 2 en un punto de funcionamiento determinado y la máxima capacidad de enfriamiento nominal ($PC_{max,i}$) de la i -ésima máquina frigorífica 2. El estado de funcionamiento ST_i de la i -ésima máquina frigorífica puede ser "encendido" o "apagado". En el caso de un número N de máquinas frigoríficas 2, el módulo de optimización 17 proporciona N estados de funcionamiento ST_i y N relaciones de carga parcial PLR_i , como se ilustra en la figura 1. Además, la unidad de supervisión 15 está configurada para implementar un módulo de cálculo 18
 60 adecuado para determinar, para cada máquina frigorífica 2, un punto de ajuste de temperatura de suministro de máquina TSET_i respectivo en función de la carga térmica estimada PLE, la temperatura TDLV y la relación de carga parcial PLR_i fijada para dicha máquina frigorífica 2.

65 Los medios de control de bajo nivel comprenden medios de control 19 para controlar el encendido y el funcionamiento de carga parcial de las máquinas frigoríficas 2 en función de los estados de funcionamiento ST_i respectivos y de los puntos

de ajuste $TSET_i$ respectivos, fijados por la unidad de supervisión 15. Por tanto, dada la dependencia de los puntos de ajuste $TSET_i$ con respecto a las relaciones de carga parcial PLR_i respectivas, los medios de control 19 son adecuados, en general, para controlar el encendido y el funcionamiento de carga parcial de las máquinas frigoríficas 2 en función de los estados de funcionamiento ST_i respectivos y de las relaciones de carga parcial PLR_i respectivas.

De manera ventajosa, como en el ejemplo ilustrado en la figura adjunta, los medios de control 19 comprenden una pluralidad de controladores locales 20, cada uno de los cuales está conectado a una máquina frigorífica 2 respectiva para controlar el encendido de la máquina frigorífica 2 en función del estado de funcionamiento ST_i fijado y para controlar el funcionamiento de carga parcial de la máquina frigorífica 2 en función del punto de ajuste $TSET_i$ fijado y, por tanto, en función de la relación de carga parcial PLR_i fijada. En particular, cada controlador local 20 comprende un sensor de temperatura respectivo (no ilustrado) para medir la temperatura de suministro local, es decir, la temperatura del fluido de servicio 4 que sale de la máquina frigorífica 2, y es adecuado para controlar la máquina frigorífica 2 en función de una comparación entre la temperatura de suministro local y un par de umbrales de temperatura calculados en función del punto de ajuste $TSET_i$, de modo que dicha máquina 2 proporciona una etapa de capacidad de enfriamiento diferente para que la temperatura de suministro local siga el punto de ajuste $TSET_i$. Cada controlador local 20 es de un tipo conocido y, por tanto, no se describen en mayor detalle.

El módulo de estimación de carga 16 determina la carga térmica estimada PLE procesando las temperaturas TDLV, TRET y TLIN usando un observador de estados. El observador de estados se aplica a un modelo dinámico de la instalación 1 en forma de espacio de estados. En particular, las temperaturas TDLV, TRET y TLIN se muestran, y el modelo dinámico se muestra en el espacio de estados en instantes de tiempo discretos.

El modelo dinámico, obtenido en el caso de un conducto de desviación adiabático 9 y cantidades despreciables de fluido de servicio en el conducto de desviación 9, permite expresar la carga térmica PL usando la siguiente ecuación:

$$PL = C_p \cdot \rho \cdot V \cdot \frac{dT_{LIN}}{dt} + m \cdot C_p \cdot (T_{RET} - T_{DLV}),$$

donde C_p es el coeficiente de intercambio de calor del fluido de servicio, ρ es la densidad del fluido de servicio, V es el volumen de fluido de servicio en la parte del circuito hidráulico 4 con las unidades de convección 3, es decir, en la parte del circuito hidráulico 4 aguas abajo del conducto de desviación 9, y m es el caudal másico del circuito hidráulico 4.

La dinámica de la carga térmica PL es normalmente lenta con respecto a la de las máquinas frigoríficas 2. Por tanto, en el caso de una carga térmica PL con dinámica constante, el modelo dinámico del espacio de estados es:

$$\begin{cases} \frac{dPL}{dt} = 0 \\ \frac{dT_{LIN}}{dt} = \frac{1}{\rho \cdot C_p \cdot V} PL + \frac{m}{\rho \cdot V} T_{DLV} - \frac{m}{\rho \cdot V} T_{RET} \end{cases}$$

De manera ventajosa, el observador de estados es un observador de Luenberger.

Según una realización alternativa de la invención, el observador de estados en un filtro de Kalman.

De manera ventajosa, el módulo de estimación de carga 16 filtra la carga térmica estimada PLE antes de suministrarla a los módulos de cálculo subsiguientes, a través de un filtro paso bajo, no descrito, para reducir los efectos de las operaciones de conmutación (encendido y apagado) del compresor.

El módulo de optimización 17 determina los estados de funcionamiento ST_i y las relaciones de carga parcial PLR_i minimizando una función objetivo OBJ definida como la suma de al menos un primer y un segundo término. El primer término depende de una diferencia entre la carga térmica estimada PLE y una suma de las capacidades de enfriamiento PC_i proporcionadas por todas las máquinas frigoríficas 2. El segundo término depende de una suma de la potencia eléctrica PE_i consumida por todas las máquinas frigoríficas 2 a las capacidades de enfriamiento PC_i respectivas. Por ejemplo, la función objetivo OBJ viene dada por:

$$OBJ = hc \left[\sum_{i=1}^N PC_i - PLE \right]^{kc} + he \left[\sum_{i=1}^N PE_i \right]^{ke},$$

5 donde N es el número de máquinas frigoríficas 2 de la instalación 1, hc y kc son, respectivamente, un coeficiente y un exponente de penalizaciones asociadas a la carga térmica, y he y ke son, respectivamente, un coeficiente y un exponente de penalizaciones asociadas al consumo de electricidad. El coeficiente de penalización hc está comprendido entre 5 y 25. El exponente de penalización kc está comprendido entre 0,5 y 2. El coeficiente de penalización he está comprendido entre 0,5 y 7. El exponente de penalización ke está comprendido entre 0,5 y 3.

10 Cada capacidad de enfriamiento PC_i está definida por el producto de una capacidad de enfriamiento máxima (PC_{maxi}) PC_{maxi} que puede ser proporcionada por la máquina frigorífica 2 respectiva multiplicada por la carga parcial PLR_i asociada a la máquina frigorífica 2, y cada potencia eléctrica PE_i está definida por el producto de una potencia eléctrica nominal máxima PEmax_i de la máquina frigorífica 2 respectiva multiplicada por una fracción de potencia eléctrica Z_i correspondiente a la carga parcial PLR_i asociada a la máquina frigorífica 2. Para cada máquina frigorífica 2, la fracción de potencia eléctrica Z_i se extrae de una curva que expresa una relación entre la potencia eléctrica PE_i consumida y la máxima potencia eléctrica PEmax_i de la máquina frigorífica 2 cuando la relación de carga parcial PLR_i fijada cambia.

15 La figura 2 ilustra un ejemplo de una curva que expresa la relación de potencia eléctrica en función de la relación de carga parcial PLR y de dos valores de temperatura Taire del aire externo a la máquina frigorífica (20°C y 35°C). Dicha curva, indicada en la siguiente descripción como Z (Taire, PLR) se ha generado según los datos del fabricante para la máquina frigorífica 2.

20 Por tanto, la función objetivo OBJ es una función de las relaciones de carga parcial PLR_i.

$$OBJ(PLR_i) = hc \left[\sum_{i=1}^N [PC \max_i \cdot PLR_i] - PLE \right]^{kc} + he \left[\sum_{i=1}^N PE \max_i \cdot Z_i(PLR_i) \right]^{ke}$$

25 Cabe señalar que, como regla general, el estado de funcionamiento ST_i puede obtenerse a partir del valor de la relación de carga parcial PLR_i correspondiente, de la siguiente manera:

- Si PLR_i = 0, entonces ST_i = “apagado”;
- Si PLR_i > 0, entonces ST_i = “encendido”.

30 Por tanto, la minimización de la función OBJ(PLR_i) devuelve la mejor solución del conjunto de valores no conocidos compuesto por la pluralidad de relaciones de carga parcial PLR_i y los estados de funcionamiento ST_i.

35 Para minimizar la función objetivo OBJ(PLR_i), el módulo de optimización 17 implementa un algoritmo de optimización de múltiples fases que consiste en un algoritmo genético de múltiples fases que actúa en individuos definidos por soluciones potenciales de los estados de funcionamiento ST_i y las relaciones de carga parcial PLR_i y que tiene un índice de adecuación de los individuos definidos según la función objetivo OBJ(PLR_i).

40 Los algoritmos genéticos de múltiples fases son de un tipo conocido. Por este motivo, en el presente documento solo se describirán los aspectos del algoritmo genético que afectan a la invención.

45 El conjunto de valores no conocidos para los que va a hallarse la mejor solución, es decir, todas las relaciones de carga parcial PLR_i y todos los estados de funcionamiento ST_i, se codifica en formato binario. Cada fase del algoritmo genético actúa en una población inicial de soluciones (individuos) divididas en soluciones aleatorias y las mejores soluciones generadas por la fase anterior. La primera fase solo se inicializa claramente con soluciones aleatorias. La población de cada fase contiene el mismo número de individuos N_s. Durante cada fase, los individuos se recombinan para proporcionar una nueva generación usando varios operadores (reproducción, cruzamiento, mutación, etc.). El número total de generaciones N_G está prefijado. El número de fases N_{PH} se define mediante la relación entre el número de generaciones N_G y el número de individuos N_s (N_{PH} = N_G/N_s) y el número de generaciones por fase se define mediante la relación entre el número de generaciones N_G y el número de fases N_{PH}. El número de individuos N_s está comprendido entre 50 y 300. El número de generaciones N_G está comprendido entre 400 y 700.

55 La última fase del algoritmo genético actúa en una población inicial de soluciones que comprende soluciones que implementan un procedimiento para controlar las máquinas frigoríficas conocido como estrategia de saturación de máquina (MS) y soluciones que implementan un procedimiento para controlar las máquinas frigoríficas conocido como estrategia de saturación por etapas (SS). Dicho de otro modo, la población inicial de la última fase está dividida en soluciones generadas de manera aleatoria, las mejores soluciones generadas por la fase anterior, soluciones que implementan la estrategia de control de máquina y soluciones que implementan la estrategia de control por etapas. Las soluciones obtenidas a partir de las estrategias de control conocidas se inoculan de modo que los valores conocidos pueden incorporarse en el algoritmo genético, el cual puede converger por tanto rápidamente hacia una solución coherente subóptima.

60 La población inicial se divide en las diversas soluciones descritas anteriormente mediante coeficientes de mezcla, por ejemplo según la lógica siguiente. La población inicial de cada fase que difiere de la última fase consiste en:

- $L \cdot N_s$ mejores soluciones de la fase anterior;
- $(1-L) \cdot N_s$ soluciones aleatorias.

5 La población inicial de la última fase consiste en:

- $L \cdot N_s$ mejores soluciones de la fase anterior;
- $(1-L) \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot N_s$ soluciones según la estrategia SS;
- $(1-L) \cdot L_1 \cdot (1-L_2) \cdot N_s$ soluciones según la estrategia MS; y
- $(1-L) \cdot (1-L_1) \cdot N_s$ soluciones aleatorias.

10

Los coeficientes de mezcla L , L_1 y L_2 tienen valores respectivos comprendidos entre 0 y 1. De manera ventajosa, cada uno de los coeficientes de mezcla L , L_1 y L_2 está comprendido entre 0,4 y 0,6.

15 La solución subóptima en lo que respecta a las relaciones de carga parcial PLR_i y los estados de funcionamiento ST_i se recalcula a intervalos periódicos según un periodo de supervisión que dura entre 10 y 60 minutos.

Según una realización alternativa de la invención, en lugar de implementar un algoritmo genético de múltiples fases, el módulo de optimización 17 implementa un algoritmo de optimización de enjambre de partículas de múltiples fases que actúa en partículas cuyas posiciones en un espacio real multidimensional están definidas por soluciones potenciales del estado de funcionamiento ST_i y de la relación de carga parcial PLR_i , y que tiene un índice de adecuación de partículas definido según la función objetivo $OBJ(PLR_i)$.

20

Los algoritmos de optimización de enjambre de partículas (PSO) son del tipo conocido. Por lo tanto, en el presente documento solo se describirán los aspectos del algoritmo de optimización de enjambre de partículas que afectan a la invención.

25

El conjunto de valores no conocidos para los que va a hallarse la mejor solución, es decir, todas las relaciones de carga parcial PLR_i y todos los estados de funcionamiento ST_i , se codifica de manera conocida. Cada fase del algoritmo de enjambre de partículas actúa un enjambre inicial de soluciones (partículas) divididas en soluciones aleatorias y las mejores soluciones obtenidas a partir de la fase anterior. Claramente, la primera fase se inicializa solamente con soluciones aleatorias, es decir, partículas con posiciones aleatorias en el espacio multidimensional que está considerándose. El enjambre de cada fase contiene el mismo número de partículas N_s . Durante cada fase, el enjambre de partículas desplaza y evalúa la función objetivo $OBJ(PLR_i)$, es decir, la función que va a minimizarse. El número de fases N_{PH} está prefijado. El número de partículas en el enjambre N_s también está prefijado. El número de repeticiones para cada fase, indicado generalmente como N_G , viene dado por la suma de una constante positiva y el número de repeticiones relacionadas con la fase anterior, indicado como N_{G-1} . El número de fases N_{PH} está comprendido entre 1 y 10. El número de partículas N_s está comprendido entre 10 y 100. El número de repeticiones N_G está comprendido entre 10 y 250.

35

40

La última fase del algoritmo de enjambre de partículas actúa en un enjambre inicial de soluciones que comprende soluciones que implementan una estrategia de saturación de máquina (MS) para controlar las máquinas frigoríficas y soluciones que implementan una estrategia de saturación por etapas (SS) para controlar las máquinas frigoríficas. Dicho de otro modo, el enjambre inicial de la última fase se divide en soluciones generadas de manera aleatoria, las mejores soluciones generadas por la fase anterior, soluciones que implementan la estrategia de control de máquina y soluciones que implementan la estrategia de control de etapa. Las soluciones obtenidas a partir de las estrategias de control conocidas se inoculan de modo que los valores conocidos pueden incorporarse en el algoritmo de enjambre de partículas, el cual puede converger por tanto rápidamente hacia una solución coherente subóptima.

45

El enjambre inicial se divide en los diversos tipos de soluciones mencionadas anteriormente mediante coeficientes de mezcla, por ejemplo de la manera descrita anteriormente para el algoritmo genético.

50

Al igual que el algoritmo genético, la solución subóptima en lo que respecta a las relaciones de carga parcial PLR_i y los estados de funcionamiento ST_i se recalcula a intervalos periódicos según un periodo de supervisión que dura entre 10 y 60 minutos.

55

El módulo de cálculo 18 comprende un módulo de estimación de punto de ajuste de temperatura 21 para calcular, para cada máquina frigorífica 2, un punto de ajuste intermedio $TSETM_i$ en función de la carga térmica estimada PLE , la temperatura $TDLV$ y la relación de carga parcial PLR_i fijada para la máquina frigorífica 2. Por ejemplo, el punto de ajuste intermedio $TSETM_i$ se calcula usando la siguiente fórmula:

60

$$TSETM_i = TDLV + \Delta T_0 \cdot \left(\frac{PLE}{PCP_{max}} - PLR_i \right),$$

donde ΔT_0 es un parámetro de la instalación que expresa una diferencia deseada entre las temperaturas de suministro y de retorno, y PCPmax es la máxima capacidad de enfriamiento nominal (PCmaxi) de la instalación 1.

5 El módulo de cálculo 18 comprende además: un módulo de sustracción 22 para calcular un error ERR como la diferencia entre un punto de ajuste prefijado de temperatura de suministro de instalación TSETP y la temperatura medida TLIN; un controlador PID (proporcional-integral-derivativo) 23, que es conocido en la técnica anterior y no descrito en detalle en el presente documento, para determinar un factor de corrección $\Delta TSET$ en función del error ERR; y un módulo de adición 24 para calcular el punto de ajuste TSET_i de cada máquina frigorífica 2 como la suma del punto de ajuste intermedio TSETM_i respectivo y el factor de corrección $\Delta TSET$.

10 El objetivo del controlador PID 23 es reducir las imprecisiones en el cálculo de la temperatura TLIN tras largos periodos de funcionamiento de la instalación 1 y debidas a las aproximaciones introducidas por las curvas Z(Taire, PLR).

15 Según una realización alternativa de la invención no ilustrada, el módulo de cálculo 18 comprende un módulo de estimación de errores, en lugar del módulo de sustracción 22, para calcular el error ERR usando una función no lineal del punto de ajuste TSETP y de la temperatura TLIN.

20 Según una realización alternativa adicional de la invención no ilustrada, el módulo de cálculo 18 comprende un módulo de combinación, en lugar del módulo de adición 24, para calcular el punto de ajuste TSET_i usando una función no lineal del punto de ajuste intermedio TSETM_i y del factor de corrección $\Delta TSET$.

25 La principal ventaja del procedimiento y del sistema descritos anteriormente para controlar una pluralidad de máquinas frigoríficas de una instalación de climatización es que permite que las máquinas frigoríficas se usen tan cerca como sea posible de su máximo nivel de eficacia a la vez que se reduce al mínimo el consumo de potencia eléctrica, siendo uniforme el suministro de la capacidad de enfriamiento global. Además, la implementación de un algoritmo genético de múltiples fases a nivel de supervisión hace posible obtener rápidamente una solución coherente subóptima del problema de minimización.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un procedimiento para controlar una pluralidad de máquinas frigoríficas (2) de un sistema de climatización (1) que comprende medios de convección (3) conectados a las máquinas frigoríficas (2) a través de un circuito de servicio (4), que comprende un conducto de suministro (5) dentro del cual el fluido de servicio fluye desde las máquinas frigoríficas (2) hasta los medios de convección (3), un conducto de retorno (6) dentro del cual el fluido de servicio fluye en sentido contrario y un conducto de desviación (9) que conecta un punto (5a) del conducto de suministro (5) y un punto (6a) del conducto de retorno (6); estando caracterizado el procedimiento porque comprende:
- 10 - medir, mediante medios de detección de temperatura (12-14), una primera temperatura (TDLV) del fluido de servicio en el conducto de suministro (5) aguas arriba del conducto de desviación (9), una segunda temperatura (TRET) del fluido de servicio en el conducto de retorno (6), y una tercera temperatura (TLIN) del fluido de servicio en el conducto de suministro (5) aguas abajo del conducto de desviación (9);
 - 15 - determinar una estimación de la carga térmica (PLE) del circuito de servicio (4) en función de dichas primera, segunda y tercera temperaturas (TDLV, TRET, TLIN);
 - determinar estados de funcionamiento (ST_i) y relaciones de carga parcial (PLR_i) a fijar para las máquinas frigoríficas (2) para permitir que las máquinas frigoríficas (2) proporcionen una capacidad de enfriamiento global que satisfaga la carga térmica estimada con un consumo mínimo de potencia eléctrica; y
 - 20 - controlar el encendido y el funcionamiento de carga parcial de las máquinas frigoríficas (2) en función de los estados de funcionamiento (ST_i) respectivos y las relaciones de carga parcial (PLR_i).
- 2.- El procedimiento según la reivindicación 1, en el que dichos estados de funcionamiento (ST_i) y dichas relaciones de carga parcial (PLR_i) a fijar para las máquinas frigoríficas (2) se determinan minimizando una función objetivo (OBJ) definida mediante una suma de al menos un primer y un segundo término, donde el primer término depende de una diferencia entre la carga térmica estimada (PLE) y una suma de las capacidades de enfriamiento (PC_i) proporcionadas por todas las máquinas frigoríficas (2), y el segundo término depende de una suma de las potencias eléctricas (PE_i) consumidas por todas las máquinas frigoríficas (2) a las capacidades de enfriamiento (PC_i) respectivas.
- 3.- El procedimiento según la reivindicación 2, en el que cada una de dichas capacidades de enfriamiento (PC_i) se define como el producto de una capacidad de enfriamiento máxima (PC_{maxi}) que puede proporcionarse por la máquina frigorífica (2) respectiva multiplicada por la relación de carga parcial (PLR_i) asociada a la máquina frigorífica (2), y cada una de dichas potencias eléctricas (PE_i) se define por el producto de una potencia eléctrica nominal máxima (PE_{maxi}) de la máquina frigorífica (2) respectiva multiplicada por una fracción de potencia eléctrica (Z_i) correspondiente a la relación de carga parcial (PLR_i) asociada a la máquina frigorífica (2).
- 4.- El procedimiento según la reivindicación 2 ó 3, en el que dicha función objetivo (OBJ) se minimiza mediante un algoritmo de optimización de múltiples fases que consiste en un algoritmo genético de múltiples fases, que actúa en individuos definidos por soluciones potenciales de estado de funcionamiento (ST_i) y de relación de carga parcial (PLR_i) y tiene un índice de adecuación de los individuos definido según la función objetivo (OBJ), o mediante un algoritmo de enjambre de partículas de múltiples fases que actúa en partículas definidas por soluciones potenciales de estado de funcionamiento (ST_i) y de relación de carga parcial (PLR_i) y tiene un índice de adecuación de las partículas definido según la función objetivo (OBJ).
- 5.- El procedimiento según la reivindicación 4, en el que la última fase de dicho algoritmo de optimización de múltiples fases actúa en un conjunto inicial de soluciones, que comprende primeras soluciones que implementan una estrategia de saturación de máquina para controlar las máquinas frigoríficas (2) y segundas soluciones que implementan una estrategia de saturación por etapas para controlar las máquinas frigoríficas (2).
- 6.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además:
- 50 - determinar, para cada máquina frigorífica (2), un punto de ajuste de temperatura de suministro de máquina (TSET_i) respectivo en función de dicha carga térmica estimada (PLE), dicha primera temperatura (TDLV) y la relación de carga parcial (PLR_i) fijada para la máquina frigorífica (2); controlándose dicho funcionamiento de carga parcial de las máquinas frigoríficas (2) en función de los puntos de ajuste de temperatura de suministro de máquina (TSET_i) respectivos.
- 7.- El procedimiento según la reivindicación 6, en el que determinar, para cada máquina frigorífica (2), un punto de ajuste de temperatura de suministro de máquina (TSET_i) respectivo comprende:
- 60 - calcular un punto de ajuste intermedio (TSETM_i) en función de dicha carga térmica estimada (PLE), dicha primera temperatura (TDLV) y dicho valor de carga parcial (PLR_i) fijado;
 - calcular un error (ERR) en función de dicha tercera temperatura (TLIN) y de un punto de ajuste de temperatura de suministro de instalación prefijado;
 - 65 - determinar un factor de corrección ($\Delta TSET$) en función de dicho error (ERR) mediante un control proporcional-integral-derivativo; y

- calcular el punto de ajuste de temperatura de suministro de máquina ($TSET_i$) en función del punto de ajuste intermedio ($TSETM_i$) y el factor de corrección ($\Delta TSET$).

5 8.- Un sistema de control para controlar una pluralidad de máquinas frigoríficas (2) de un sistema de climatización (1) que
 10 comprende medios de convección (3) conectados a las máquinas frigoríficas (2) a través de un circuito de servicio (4),
 que presenta un conducto de suministro (5) dentro del cual un fluido de servicio fluye desde las máquinas frigoríficas (2)
 hasta los medios de convección (3), un conducto de retorno (6) dentro del cual un fluido de servicio fluye en sentido
 15 contrario y un conducto de desviación (9) que conecta un punto (5a) del conducto de suministro (5) y un punto (6a) del
 conducto de retorno (6); estando caracterizado el sistema de control (11) porque comprende: medios de detección de
 temperatura (12-14) dispuestos a lo largo del circuito de servicio (4) para medir una primera temperatura (TDLV) del
 fluido de servicio en el conducto de suministro (5) aguas arriba del conducto de desviación (9), una segunda temperatura
 (TRET) del fluido de servicio en el conducto de retorno (6) y una tercera temperatura (TLIN) del fluido de servicio en el
 20 conducto de suministro (5) aguas abajo del conducto de desviación (9); medios de supervisión (15) configurados para
 implementar un módulo de estimación de carga (16) para proporcionar una estimación de la carga térmica (PLE) del
 circuito de servicio (4) en función de dichas primera, segunda y tercera temperaturas (TDLV, TRET, TLIN) y un módulo
 de optimización (17) para determinar estados de funcionamiento (ST_i) y relaciones de carga parcial (PLR_i) a fijar para las
 máquinas frigoríficas (2) para permitir que las máquinas frigoríficas (2) proporcionen una capacidad de enfriamiento
 global que satisfaga la carga térmica estimada (PLE) con un consumo mínimo de potencia eléctrica; y medios de control
 (19) para controlar el encendido y el funcionamiento de carga parcial de las máquinas frigoríficas (2) en función de los
 25 estados de funcionamiento (ST_i) respectivos y las relaciones de carga parcial (PLR_i).

9.- El sistema de control según la reivindicación 8, en el que dicho módulo de optimización (17) es adecuado para
 30 determinar dichos estados de funcionamiento (ST_i) y dichas relaciones de carga parcial (PLR_i) minimizando una función
 objetivo (OBJ) definida como la suma de términos que dependen de una suma de las capacidades de enfriamiento (PC_i)
 proporcionadas por todas las máquinas frigoríficas (2), de dicha carga térmica estimada (PLE) y de una suma de las
 35 potencias eléctricas (PE_i) consumidas por todas las máquinas frigoríficas (2) a las capacidades de enfriamiento (PC_i)
 respectivas.

10.- El sistema de control según la reivindicación 9, en el que dicho módulo de optimización (17) implementa un algoritmo
 40 de optimización de múltiples fases que consiste en un algoritmo genético de múltiples fases, que actúa en individuos
 definidos por soluciones potenciales de estado de funcionamiento (ST_i) y de relación de carga parcial (PLR_i) y tiene un
 índice de adecuación de los individuos definido según dicha función objetivo (OBJ) que va a minimizarse, o mediante un
 algoritmo de enjambre de partículas de múltiples fases que actúa en partículas definidas por soluciones potenciales de
 45 estado de funcionamiento (ST_i) y de relación de carga parcial (PLR_i) y tiene un índice de adecuación de las partículas
 definido según la función objetivo (OBJ).

11.- El sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que dichos medios de supervisión (15)
 50 están configurados para implementar un módulo de cálculo (18) adecuado para determinar, para cada máquina frigorífica
 (2), un punto de ajuste de temperatura de suministro de máquina ($TSET_i$) respectivo en función de dicha carga térmica
 estimada (PLE), dicha primera temperatura (TDLV) y la relación de carga parcial (PLR_i) fijada para la máquina frigorífica
 (2); estando configurados dichos medios de control (19) para controlar el funcionamiento de carga parcial de las
 55 máquinas frigoríficas (2) en función de los puntos de ajuste de temperatura de suministro de máquina ($TSET_i$)
 respectivos.

12.- El sistema de control según la reivindicación 11, en el que dichos medios de control (19) comprenden una pluralidad
 60 de controladores locales (20), cada uno de los cuales está conectado a una máquina frigorífica (2) respectiva para
 controlar el funcionamiento de carga parcial de dicha máquina frigorífica (2) en función del punto de ajuste de
 temperatura de suministro de máquina ($TSET_i$) respectivo.

13.- El sistema de control según la reivindicación 11 ó 12, en el que dicho módulo de cálculo (18) comprende un módulo
 65 de control proporcional-integral-derivativo (23) para determinar un factor de corrección ($\Delta TSET$) en función de un error
 (ERR), que se calcula en función de dicha tercera temperatura (TLIN) y de un punto de ajuste de temperatura de
 suministro de instalación prefijado (TSETP); estando configurado el módulo de cálculo (18) para determinar cada dicho
 punto de ajuste de temperatura de suministro de máquina ($TSET_i$) en función del factor de corrección ($\Delta TSET$).

14.- Una instalación de climatización que comprende: una pluralidad de máquinas frigoríficas (2); medios de convección
 70 (3) conectados a las máquinas frigoríficas (2) a través de un circuito de servicio (4), que presenta un conducto de
 suministro (5) dentro del cual un fluido de servicio fluye desde las máquinas frigoríficas (2) hasta los medios de
 convección (3), un conducto de retorno (6) dentro del cual el fluido de servicio fluye en sentido contrario y un conducto de
 desviación (9) que conecta un punto (5a) del conducto de suministro (5) y un punto (6a) del conducto de retorno (6); y un
 sistema de control (11) para controlar las máquinas frigoríficas (2); estando caracterizada la instalación de climatización
 (1) porque el sistema de control (11) es del tipo dado a conocer en una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13.

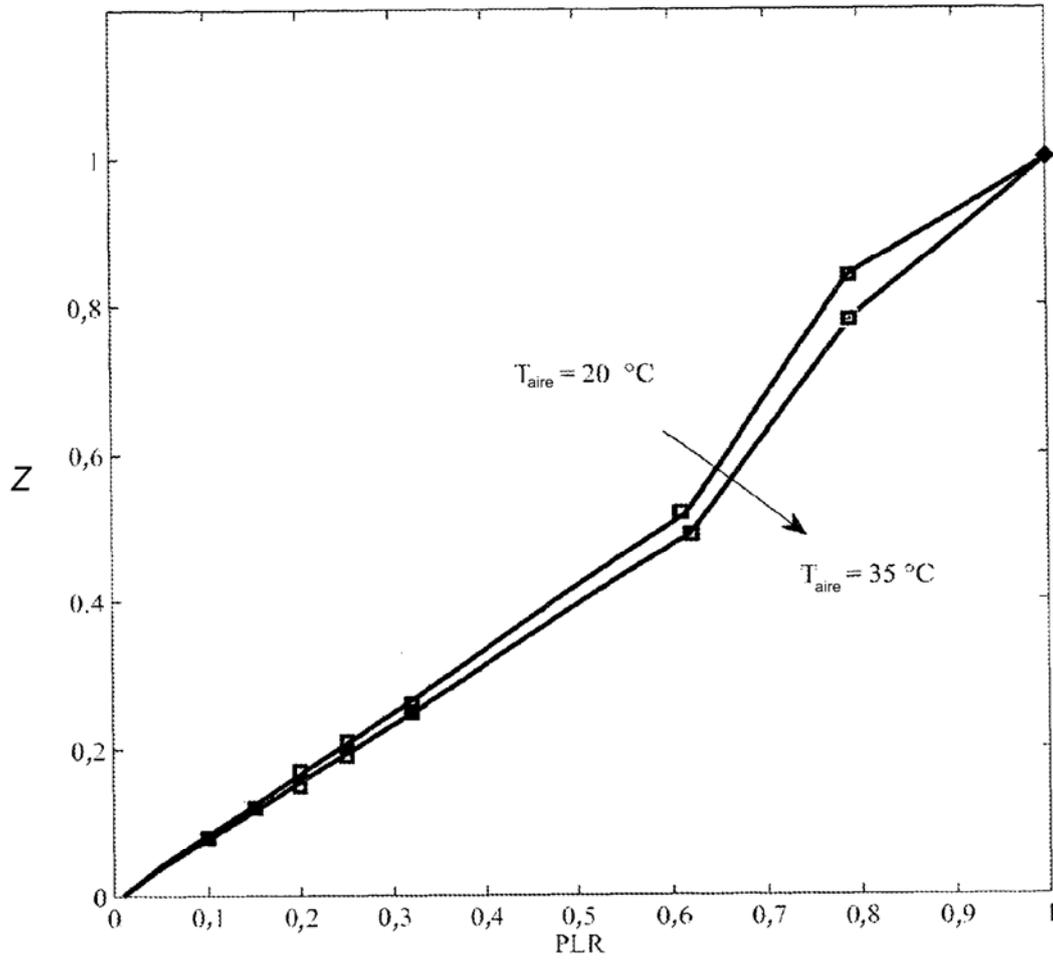


FIG.2