



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**16.06.2010 Patentblatt 2010/24**

(51) Int Cl.:  
**F24F 11/00** <sup>(2006.01)</sup> **G01L 3/26** <sup>(2006.01)</sup>  
**F25B 49/00** <sup>(2006.01)</sup> **F25B 49/02** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **09014744.8**

(22) Anmeldetag: **26.11.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR**  
 Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA RS**

(72) Erfinder:  
 • **Bersch, Hans-Jürgen**  
**52152 Simmerath (DE)**  
 • **Steils, Raymond**  
**4053 Embourg (BE)**

(30) Priorität: **11.12.2008 DE 102008061631**

(74) Vertreter: **Manitz, Finsterwald & Partner GbR**  
**Postfach 31 02 20**  
**80102 München (DE)**

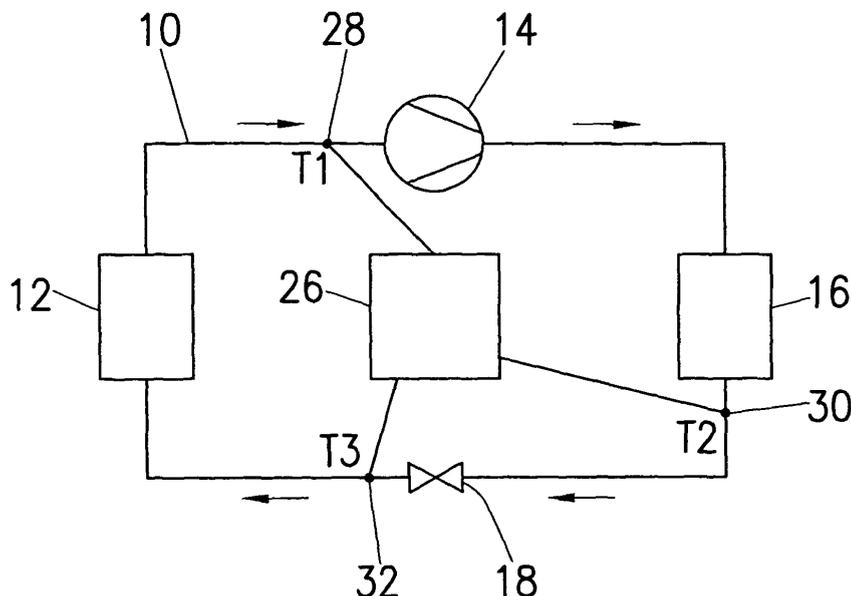
(71) Anmelder: **Emerson Electric GmbH & Co. OHG**  
**71332 Waiblingen (DE)**

(54) **Verfahren zur Bestimmung der Leistungszahl einer Kältemaschine**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Leistungszahl einer Kältemaschine, insbesondere einer Wärmepumpe, die einen ein Kältemittel aufweisenden geschlossenen Kreislauf umfasst, in dem ein Verdampfer, ein Verdichter, ein Verflüssiger und ein Expansionsventil angeordnet sind. Bei dem Verfahren werden mit Hilfe von in dem Kreislauf angeordneten Temperatursensoren wenigstens drei Temperaturen des Kältemittels ermittelt. Alternativ werden mit Hilfe von in dem Kreislauf angeordneten Sensoren wenig-

stens zwei Temperaturen und wenigstens ein Druck des Kältemittels ermittelt. Aus den ermittelten Kältemitteltemperaturen bzw. -drücken werden Enthalpien des Kreislaufs und hieraus die Heizleistung und die aufgenommene elektrische Leistung der Kältemaschine berechnet, um aus dem Quotienten der berechneten Heizleistung und der berechneten aufgenommenen elektrischen Leistung die Leistungszahl der Kältemaschine zu bestimmen. Die Erfindung betrifft auch eine Kältemaschine zur Durchführung eines solchen Verfahrens.

Fig.1



## Beschreibung

- 5 [0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Leistungszahl einer Kältemaschine, insbesondere einer Wärmepumpe, die einen ein Kältemittel aufweisenden geschlossenen Kreislauf umfasst, in dem ein Verdampfer, ein Verdichter, ein Verflüssiger und ein Expansionsventil angeordnet sind.
- 10 [0002] Als Leistungszahl (COP) einer Kältemaschine wird der Quotient aus Heizleistung der Kältemaschine und aufgenommener elektrischer Leistung der Kältemaschine bezeichnet. Herkömmlicherweise wird die elektrische Leistungsaufnahme der Kältemaschine über einen Stromzähler erfasst, während die Heizleistung der Kältemaschine durch eine Temperatur- und Volumenstrommessung auf der Wasserseite des Kältemittelkreislaufs, d.h. also hinter dem Verflüssiger, ermittelt wird.
- 15 [0003] Bekannt ist auch ein Verfahren, bei dem mit Hilfe von zwei Drucksensoren und drei Temperatursensoren die Temperaturen und Drücke des Kältemittels an verschiedenen Stellen des Kreislaufs erfasst und zur Berechnung der Leistungszahl herangezogen werden. Mittels eines Stromzählers wird außerdem die elektrische Leistungsaufnahme der Kältemaschine erfasst. Durch Multiplikation der Leistungszahl mit der aufgenommenen elektrischen Leistung kann dann die Heizleistung der Kältemaschine errechnet werden.
- [0004] Als problematisch erweist sich bei den bekannten Verfahren bzw. Kältemaschinen, dass sowohl der Stromzähler als auch die Drucksensoren einen nicht unerheblichen Kostenfaktor darstellen.
- 20 [0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein kostengünstigeres Verfahren zur Bestimmung der Leistungszahl einer Kältemaschine zu schaffen.
- [0006] Zur Lösung der Aufgabe ist ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. 4 vorgesehen.
- 25 [0007] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren nach Anspruch 1 werden zur Bestimmung der Leistungszahl einer Kältemaschine, insbesondere einer Wärmepumpe, die einen ein Kältemittel aufweisenden geschlossenen Kreislauf umfasst, in dem ein Verdampfer, ein Verdichter, ein Verflüssiger und ein Expansionsventil angeordnet sind, mit Hilfe von mindestens drei Temperatursensoren, die in dem Kreislauf angeordnet sind, wenigstens drei Temperaturen des Kältemittels ermittelt. Aus den ermittelten Kältemitteltemperaturen werden Enthalpien und Drücke des Kreislaufs berechnet, und aus Differenzen der berechneten Enthalpien werden sowohl die Heizleistung als auch die aufgenommene elektrische Leistung der Kältemaschine berechnet. Aus dem Quotienten der berechneten Heizleistung und der berechneten aufgenommenen elektrischen Leistung wird schließlich die Leistungszahl der Kältemaschine bestimmt.
- 30 [0008] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren nach Anspruch 1 wird die Leistungszahl der Kältemaschine mit anderen Worten ausschließlich anhand von Temperaturwerten ermittelt, die von drei in dem Kältemittelkreislauf angeordneten Temperatursensoren geliefert werden, wobei eine gewisse Kenntnis der thermodynamischen Eigenschaften des Systems, insbesondere des Kältemittels und des Verdichters, vorausgesetzt wird. Durch die Messung der Kältemitteltemperaturen an drei verschiedenen Stellen des Kältemittelkreislaufs wird ein Minimum von Information über den Kältemittelkreislauf ermittelt, der erforderlich ist, um die Leistungszahl der Kältemaschine bestimmen zu können.
- 35 [0009] Eine Verwendung von zusätzlichen Sensoren, z.B. weiteren Temperatursensoren oder Drucksensoren, die typischerweise etwa zehnmal teurer als Temperatursensoren sind, ist somit grundsätzlich nicht erforderlich. Insbesondere kann auf den Einsatz eines kostspieligen Stromzählers verzichtet werden. Die erfindungsgemäße Verwendung einer minimalen Anzahl von Temperatursensoren ermöglicht es also, die Leistungszahl einer Kältemaschine mit einem minimalen Kostenaufwand zu ermitteln.
- 40 [0010] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens wird eine erste Temperatur im Bereich des Eingangs des Verdichters, eine zweite Temperatur im Bereich des Ausgangs des Verflüssigers und eine dritte Temperatur im Bereich des Ausgangs des Expansionsventils gemessen. Die an diesen Stellen des Kältemittelkreislaufs gemessenen Kältemitteltemperaturen reichen grundsätzlich aus, um die Enthalpien des Kreislaufs zu ermitteln und hieraus letztlich die Leistungszahl der Kältemaschine zu bestimmen.
- 45 [0011] Alternativ kann mittels eines vierten Temperatursensors zusätzlich eine vierte Temperatur ermittelt und zur Bestimmung der Leistungszahl herangezogen werden, wobei die vierte Temperatur bevorzugt im Bereich des Ausgangs des Verdichters ermittelt wird. Durch die Messung der Kältemitteltemperatur am Verdichterausgang braucht diese nicht mehr durch ein Verdichtermodell berechnet zu werden, sondern sie kann exakt ermittelt werden. Auf diese Weise kann die Leistungszahl einfacher, schneller und genauer bestimmt werden.
- 50 [0012] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren nach Anspruch 4 werden zur Bestimmung der Leistungszahl einer Kältemaschine mit Hilfe von wenigstens zwei Temperatursensoren und mindestens einem Drucksensor, die in dem Kältemittelkreislauf angeordnet sind, wenigstens zwei Temperaturen und ein Druck des Kältemittels ermittelt. Aus den ermittelten Kältemitteltemperaturen und dem ermitteltem Kältemitteldruck werden Enthalpien des Kreislaufs und aus Differenzen zwischen den Enthalpien die Heizleistung und die aufgenommene elektrische Leistung der Kältemaschine berechnet. Aus dem Quotienten der berechneten Heizleistung und der berechneten aufgenommenen elektrischen Leistung wird dann die Leistungszahl der Kältemaschine bestimmt.
- 55 [0013] Auch bei dieser Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens lässt sich die Leistungszahl der Kältemaschine unter Verwendung einer minimalen Anzahl von Sensoren und insbesondere ohne einen Stromzähler und somit besonders

kostengünstig ermitteln. In diesem Fall erfolgt die Bestimmung der Leistungszahl ausschließlich anhand der durch die zwei Temperatursensoren und den einen Drucksensors gelieferten Messwerte, wobei auch hier gewisse Kenntnisse des Systems, insbesondere der thermodynamischen Eigenschaften des Kältemittels und des Verdichters, voraussetzen sind.

5 **[0014]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens nach Anspruch 4 wird eine erste Temperatur im Bereich des Eingangs des Verdichters, eine zweite Temperatur im Bereich des Ausgangs des Verflüssigers und ein erster Druck im Bereich des Ausgangs des Verdampfers gemessen.

**[0015]** Zusätzlich kann eine dritte Temperatur ermittelt und zur Bestimmung der Leistungszahl herangezogen werden, wobei die dritte Temperatur bevorzugt im Bereich des Ausgangs des Verdichters ermittelt wird. Aufgrund der zusätzlichen  
10 Messung einer dritten Temperatur ist es möglich, Berechnungen, die bei der Verwendung von nur drei Sensoren zur Ermittlung der Enthalpien erforderlich sind, insbesondere zur Bestimmung der Kühlmitteltemperatur am Verdichterausgang, durch eine tatsächliche Messung zu ersetzen, wodurch die Bestimmung der Leistungszahl der Kältemaschine einfacher, schneller und mit einer höheren Genauigkeit erfolgen kann.

**[0016]** Alternativ oder zusätzlich kann ein zweiter Druck ermittelt und zur Bestimmung der Leistungszahl herangezogen werden, wobei der zweite Druck vorzugsweise im Bereich des Ausgangs des Verflüssigers ermittelt wird. Auch die Messung des zweiten Druckes trägt zu einer schnelleren und genaueren Bestimmung der Leistungszahl der Kältemaschine bei, indem auf die ohne die direkte Messung erforderliche Berechnung des Druckwertes verzichtet werden kann.

**[0017]** Weitere Gegenstände der Erfindung sind außerdem die Kältemaschinen nach Anspruch 8 bzw. 11. Mit Hilfe dieser Kältemaschinen lassen sich die erfindungsgemäßen Verfahren besonders gut durchführen und die voranstehenden Vorteile entsprechend erreichen

20 **[0018]** Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung rein beispielhaft anhand vorteilhafter Ausführungsformen und unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

25 Fig. 1 eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kältemaschine;

Fig. 2 ein Log p, H - Diagramm des Kältemittels der Kältemaschine von Fig. 1 und den zugehörigen Kreisprozess;

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kältemaschine;

30 Fig. 4 eine schematische Darstellung einer dritten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kältemaschine;

Fig. 5 eine schematische Darstellung einer vierten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kältemaschine;

35 Fig. 6 eine schematische Darstellung einer fünften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kältemaschine; und

Fig. 7 eine schematische Darstellung einer sechsten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kältemaschine.

**[0019]** In Fig. 1 ist eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kältemaschine dargestellt. Die Kältemaschine umfasst einen ein Kältemittel aufweisenden geschlossenen Kreislauf 10, in dem ein Verdampfer 12, ein Verdichter 14, ein Verflüssiger 16 und ein Expansionsventil 18 angeordnet sind.

**[0020]** Zur Ermittlung der Kältemitteltemperatur ist ein Temperatursensor 28 im Bereich des Eingangs des Verdichters 14, ein Temperatursensor 30 im Bereich des Ausgangs des Verflüssigers 16 und ein Temperatursensor 32 im Bereich des Ausgangs des Expansionsventils 18 angeordnet. Die Temperatursensoren 28, 30, 32 sind mit einer Auswerteeinheit 26 verbunden, die in eine Steuerung der Kältemaschine integriert sein kann.

45 **[0021]** Die Kältemaschine wird hier in ihrer Funktion als Wärmepumpe beschrieben. Fig. 2 zeigt zu diesem Zweck ein Log p, H - Diagramm des in der Kältemaschine verwendeten Kältemittels, wobei der Druck p des Kältemittels logarithmisch als Funktion der Enthalpie H aufgetragen ist. Eingezeichnet sind außerdem die Grenzen gesättigter Flüssigkeit 20 und gesättigten Gases 22.

**[0022]** Der Punkt E in Fig. 2 bezeichnet den Zustand des Kältemittels nach der Expansion durch das Expansionsventil 18. In dem Verdampfer 12 findet eine Verdampfung (E-A) und Überhitzung (A-B) des Kältemittels statt.

**[0023]** Der Verdichter 14 sorgt für eine Verdichtung (B-C) des Kältemittels, die mit einer entsprechenden Temperaturerhöhung einhergeht. Beispielsweise kann die Temperatur des Kältemittels von etwa +10°C am Ausgang des Verdampfers 12 durch den Verdichter 14 bis auf etwa +90°C erhöht werden.

**[0024]** Im Verflüssiger 16 erfolgt eine Verflüssigung (C-D) des Kältemittels, wobei die Verflüssigungstemperatur zum Beispiel +50°C betragen kann. Das nunmehr flüssige und nur noch 50°C warme Kältemittel wird anschließend durch das Expansionsventil 18 entspannt (D-E), wobei es beispielsweise bis auf etwa 0°C abkühlt.

55 **[0025]** Nachfolgend wird als T1 die Temperatur des gasförmigen Kältemittels am Eingang des Verdichters 14, als T2 die Temperatur des flüssigen Kältemittels am Ausgang des Verflüssigers 16, als T3 die Temperatur des expandierten

## EP 2 196 740 A2

Kältemittels am Ausgang des Expansionsventils 18 und als T4 die Temperatur des gasförmigen Kältemittels am Ausgang des Verdichters 14 bezeichnet.

**[0026]** Als P1 wird der Verdampfungsdruck, d.h. also der Druck des gasförmigen Kältemittels am Ausgang des Verdampfers 12, und als P2 der Verflüssigungsdruck, d.h. also der Druck des flüssigen Kältemittels am Ausgang des Verflüssigers 16 bezeichnet.

**[0027]** Zur Bestimmung der Leistungszahl der Kältemaschine wird zunächst die Enthalpie H1 am Ausgang des Verflüssigers 16, die Enthalpie H2 am Eingang des Verdichters 14 und die Enthalpie H3 am Ausgang des Verdichters 14 ermittelt.

**[0028]** Dabei ist die Enthalpie H 1 eine Funktion der Kältemitteltemperatur T2 am Ausgang des Verflüssigers, die Enthalpie H2 eine Funktion der Kältemitteltemperatur T1 am Eingang des Verdichters 14 und des Kältemitteldrucks P1 am Ausgang des Verdampfers 12 und die Enthalpie H3 eine Funktion der Kältemitteltemperatur T4 am Ausgang des Verdichters 14 und des Kältemitteldrucks P2 am Ausgang des Verflüssigers 16:

$$H1 = f(T2) \quad (1)$$

$$H2 = f(P1, T1) \quad (2)$$

$$H3 = f(P2, T4) \quad (3)$$

**[0029]** Bei der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform erfolgt die Ermittlung der der Temperaturen T1, T2, T3 durch Messung mit Hilfe der Temperatursensoren 28, 30 bzw. 32. Die von den Temperatursensoren 28, 30, 32 erfassten Temperaturwerte T1, T2, T3 werden an die Auswerteeinheit 26 übermittelt.

**[0030]** Die Auswerteeinheit 26 berechnet unter Verwendung der Druckgleichung des verwendeten Kältemittels aus dem empfangenen Wert für die Temperatur T2 am Ausgang des Verflüssigers 16 den Druck P2 und aus dem Temperaturwert T3 am Ausgang des Expansionsventils 18 den Druck P1. Als Druckgleichung kann beispielsweise die allgemein bekannte Clausius-Clapeyron-Gleichung verwendet werden.

**[0031]** In Kenntnis der Temperaturen T1 und T2 sowie des Druckes P1 lassen sich nun durch die Gleichungen (1) und (2) die Enthalpien H1 und H2 bestimmen.

**[0032]** Die Enthalpie H3 wird, da die Temperatur T4 nicht bekannt ist, aus dem Verdichtermodell berechnet.

**[0033]** Hierzu wird angenommen, dass etwa 95 % der von dem Verdichter 14 aufgenommenen elektrischen Leistung in den Kältekreislauf induziert werden. Die von dem Verdichter 14 aufgenommene elektrische Leistung Qel wird dabei nicht durch einen Stromzähler ermittelt, sondern durch ein die thermodynamischen Eigenschaften des Verdichters 14 beschreibendes Modell berechnet, z.B. ein 10-Koeffizienten-Modell.

**[0034]** Mit Hilfe dieses Modells kann nicht nur die von dem Verdichter 14 aufgenommene elektrische Leistung, sondern auch die Kälteleistung Q0 des Verdichters 14, der von dem Verdichter 14 aufgenommene elektrische Strom I und der Massenstrom m° des durch den Verdichter 14 strömenden Kältemittels berechnet werden.

**[0035]** Dabei gelten die berechneten Werte nur für den dokumentierten Arbeitspunkt des Verdichters 14 bei entweder konstanter Überhitzung oder konstanter Sauggasttemperatur, d.h. konstanter Temperatur T1 des Kältemittels am Verdichtereingang. Um die Werte des realen Betriebspunkts zu berechnen, müssen die Werte in Abhängigkeit von der realen Verdichtereingangstemperatur T1 korrigiert werden.

**[0036]** Die von dem Verdichter 14 aufgenommene elektrische Leistung Qel wird durch den Massenstrom m<sup>0</sup> geteilt, um die Enthalpiedifferenz H3-H2 zu bestimmen:

$$Q_{el}/m^{\circ} = H3 - H2 \quad (4)$$

**[0037]** Da die Enthalpie H2 aus Gleichung (2) bekannt ist, lässt sich aus der Enthalpiedifferenz H3-H2 leicht die Enthalpie H3 berechnen.

**[0038]** Zur Kontrolle wird die Kältemitteltemperatur T4 am Verdichterausgang aus dem Schnittpunkt der Linie der Enthalpie H3 mit der Linie des Druckes P2 in dem Log p, H - Diagramm von Fig. 2 berechnet.

**[0039]** Aus der Differenz der berechneten Enthalpien H3 und H 1 wird anschließend gemäß der Gleichung

$$Q_h = m^o * (H_3 - H_1) \quad (5)$$

5 die Heizleistung  $Q_h$  der Kältemaschine berechnet. Die von dem Verdichter 14 aufgenommene elektrische Leistung  $Q_{el}$  wurde bereits mit Hilfe des Verdichtermodells ermittelt und ist gemäß Gleichung (4) proportional zu der Differenz der Enthalpien  $H_3$  und  $H_2$ .

[0040] Zur Bestimmung der Leistungszahl COP bzw. des Wirkungsgrades der Kältemaschine braucht abschließend nur noch der Quotient aus der Heizleistung  $Q_h$  und der elektrischen Leistung  $Q_{el}$  gebildet zu werden:

10

$$COP = Q_h / Q_{el} = (H_3 - H_1) / (H_3 - H_2) \quad (6)$$

15 [0041] Durch eine Integration der Leistungszahl über die Zeit kann aus der Leistungszahl außerdem die Jahresarbeitszahl der Kältemaschine ermittelt werden. Entsprechend können die Heizleistung  $Q_h$  und die elektrische Leistung  $Q_{el}$  über die Zeit integriert werden, um die Heizenergie und die aufgenommene elektrische Energie anzuzeigen. Die Leistungsaufnahme von Zusatzgeräten, wie z.B. Pumpen, Elektronik, etc., kann dabei durch geeignete Parameter in die Berechnung einfließen.

20 [0042] In Fig. 3 ist eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kältemaschine dargestellt, die sich von der voranstehend beschriebenen Ausführungsform darin unterscheidet, dass ein mit der Auswerteeinheit 26 verbundener vierter Temperatursensor 34 im Bereich des Ausgangs des Verdichters 14 angeordnet ist, um die Kältemitteltemperatur  $T_4$  am Verdichterausgang zu ermitteln. Bei dieser Ausführungsform braucht die Kältemitteltemperatur  $T_4$  am Verdichterausgang also nicht mit Hilfe eines Verdichtermodells abgeschätzt zu werden, sondern sie wird direkt gemessen.

25 [0043] Entsprechend der ersten Ausführungsform berechnet die Auswerteeinheit 26 unter Verwendung der Druckgleichung des verwendeten Kältemittels aus dem empfangenen Wert für die Temperatur  $T_2$  am Ausgang des Verflüssigers 16 den Druck  $P_2$  und aus der Temperatur  $T_3$  am Ausgang des Expansionsventils 18 den Druck  $P_1$ . Anschließend werden gemäß den Gleichungen (1) bis (3) aus den gemessenen Temperaturen  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_4$  und den berechneten Drücken  $P_1$ ,  $P_2$  die Enthalpien  $H_1$ ,  $H_2$  und  $H_3$  bestimmt und hieraus nach Gleichung (6) die Leistungszahl ermittelt.

30 [0044] In Fig. 4 ist eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kältemaschine dargestellt, die sich von der unter Bezugnahme auf Fig. 1 beschriebenen ersten Ausführungsform darin unterscheidet, dass anstelle des dritten Temperatursensors 32 ein Drucksensor 36 im Bereich des Ausgangs des Verdampfers 12 angeordnet ist, um dort den Druck  $P_1$  des Kältemittels zu messen. Der Drucksensor 36 ist mit der Auswerteeinheit 26 verbunden, um dieser den gemessenen Kältemitteldruck  $P_1$  zu übermitteln.

35 [0045] Bei dieser Ausführungsform braucht der Druck  $P_1$  also nicht aus der Kältemitteltemperatur  $T_3$  am Ausgang des Expansionsventils 18 berechnet zu werden, sondern er wird direkt gemessen. Lediglich der Druck  $P_2$  ist unter Verwendung der Druckgleichung des verwendeten Kältemittels aus der Temperatur  $T_2$  am Ausgang des Verflüssigers 16 zu berechnen, und die Kältemitteltemperatur  $T_4$  am Verdichterausgang ist wie anhand von Fig. 1 erläutert mit Hilfe eines Verdichtermodells zu berechnen, damit gemäß den Gleichungen (1) bis (3) die Enthalpien  $H_1$ ,  $H_2$  und  $H_3$  und hieraus nach Gleichung (6) die Leistungszahl der Kältemaschine bestimmt werden können.

40 [0046] In Fig. 5 ist eine vierte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kältemaschine dargestellt, die sich von der in Fig. 4 gezeigten dritten Ausführungsform darin unterscheidet, dass ein mit der Auswerteeinheit 26 verbundener vierter Temperatursensor 34 im Bereich des Ausgangs des Verdichters 14 angeordnet ist, um die Kältemitteltemperatur  $T_4$  am Verdichterausgang zu ermitteln. Anders als bei der dritten Ausführungsform braucht die Kältemitteltemperatur  $T_4$  am Verdichterausgang bei dieser Ausführungsform also nicht mit Hilfe eines Verdichtermodells berechnet zu werden, sondern sie wird ähnlich wie bei der in Fig. 2 gezeigten zweiten Ausführungsform direkt gemessen. Wie bei den voranstehend beschriebenen Ausführungsformen wird auch hier der Druck  $P_2$  aus der Kältemitteltemperatur  $T_2$  am Ausgang des Verflüssigers 16 berechnet.

45 [0047] Aus den gemessenen Temperaturen  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_4$  und dem gemessenen Druck  $P_1$  sowie dem berechneten Druck  $P_2$  werden anschließend die Enthalpien  $H_1$ ,  $H_2$  und  $H_3$  gemäß den Gleichungen (1) bis (3) berechnet und daraus nach Gleichung (6) die Leistungszahl bestimmt.

50 [0048] In Fig. 6 ist eine fünfte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kältemaschine dargestellt, die sich von der in Fig. 4 gezeigten dritten Ausführungsform darin unterscheidet, dass ein mit der Auswerteeinheit 26 verbundener zweiter Drucksensor 38 im Bereich des Ausgangs des Verflüssigers 16 angeordnet ist, um den Kältemitteldruck  $P_2$  am Verflüssigerausgang zu ermitteln.

55 [0049] Anders als bei der dritten Ausführungsform braucht der Druck  $P_2$  bei dieser Ausführungsform also nicht unter Verwendung der Druckgleichung des verwendeten Kältemittels aus der Temperatur  $T_2$  am Ausgang des Verflüssigers 16 berechnet zu werden, sondern er wird direkt gemessen. Lediglich die Kältemitteltemperatur  $T_4$  am Verdichterausgang

wird bei dieser Ausführungsform wie anhand von Fig. 1 beschrieben mit Hilfe eines Verdichtermodells berechnet.

**[0050]** Aus den gemessenen Temperaturen T1, T2 und den gemessenen Drücken P1, P2 sowie der berechneten Temperatur T4 werden anschließend gemäß den Gleichungen (1) bis (3) die Enthalpien H1, H2 und H3 berechnet und daraus nach Gleichung (6) die Leistungszahl bestimmt.

5 **[0051]** In Fig. 7 ist eine sechste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kältemaschine dargestellt, die sich von der in Fig. 6 gezeigten fünften Ausführungsform darin unterscheidet, dass ein mit der Auswerteeinheit 26 verbundener dritter Temperatursensor 34 im Bereich des Ausgangs des Verdichters 14 angeordnet ist, um die Kältemitteltemperatur T4 am Verdichterausgang zu ermitteln. Anders als bei der fünften Ausführungsform braucht die Kältemitteltemperatur T4 am Verdichterausgang bei dieser Ausführungsform also nicht mit Hilfe eines Verdichtermodells abgeschätzt zu werden, sondern sie wird direkt gemessen.

10 **[0052]** Aus den gemessenen Temperaturen T1, T2, T4 und den gemessenen Drücken P1, P2 werden anschließend die Enthalpien H1, H2 und H3 gemäß den Gleichungen (1) bis (3) berechnet und daraus nach Gleichung (6) die Leistungszahl bestimmt.

15 Bezugszeichenliste

**[0053]**

|    |                                    |
|----|------------------------------------|
| 10 | Kreislauf                          |
| 20 | 12 Verdampfer                      |
|    | 14 Verdichter                      |
|    | 16 Verflüssiger                    |
|    | 18 Expansionsventil                |
|    | 20 Grenzen gesättigter Flüssigkeit |
| 25 | 22 Grenzen gesättigten Gases       |
|    | 26 Auswerteeinrichtung             |
|    | 28 Temperatursensor                |
|    | 30 Temperatursensor                |
|    | 32 Temperatursensor                |
| 30 | 34 Temperatursensor                |
|    | 36 Drucksensor                     |
|    | 38 Drucksensor                     |
|    | H 1 Enthalpie                      |
| 35 | H2 Enthalpie                       |
|    | H3 Enthalpie                       |
|    | T1 Temperatur                      |
|    | T2 Temperatur                      |
|    | T3 Temperatur                      |
| 40 | T4 Temperatur                      |
|    | P1 Druck                           |
|    | P2 Druck                           |

45 **Patentansprüche**

1. Verfahren zur Bestimmung der Leistungszahl einer Kältemaschine, insbesondere einer Wärmepumpe, die einen ein Kältemittel aufweisenden geschlossenen Kreislauf (10) umfasst, in dem ein Verdampfer (12), ein Verdichter (14), ein Verflüssiger (16) und ein Expansionsventil (18) angeordnet sind, bei welchem Verfahren  
 50 mit Hilfe von in dem Kreislauf (10) angeordneten Temperatursensoren (28, 30, 32) wenigstens drei Temperaturen (T1, T2, T3) des Kältemittels ermittelt werden,  
 aus den ermittelten Kältemitteltemperaturen Enthalpien (H 1, H2, H3) des Kreislaufs (10) berechnet werden,  
 aus Differenzen der berechneten Enthalpien die Heizleistung (Qh) und die aufgenommene elektrische Leistung (Qel) der Kältemaschine berechnet werden und  
 55 aus dem Quotienten der berechneten Heizleistung (Qh) und der berechneten aufgenommenen elektrischen Leistung (Qel) die Leistungszahl (COP) der Kältemaschine bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

eine erste Temperatur (T1) im Bereich des Eingangs des Verdichters (14), eine zweite Temperatur (T2) im Bereich des Ausgangs des Verflüssigers (16) und eine dritte Temperatur (T3) im Bereich des Ausgangs des Expansionsventils (18) ermittelt wird.

- 5
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
eine vierte Temperatur (T4) ermittelt und zur Bestimmung der Leistungszahl herangezogen wird, wobei die vierte Temperatur (T4) insbesondere im Bereich des Ausgangs des Verdichters (14) ermittelt wird.
- 10
4. Verfahren zur Bestimmung der Leistungszahl einer Kältemaschine, insbesondere einer Wärmepumpe, die einen ein Kältemittel aufweisenden geschlossenen Kreislauf (10) umfasst, in dem ein Verdampfer (12), ein Verdichter (14), ein Verflüssiger (16) und ein Expansionsventil (18) angeordnet sind, bei welchem Verfahren mit Hilfe von in dem Kreislauf (10) angeordneten Temperatursensoren (28, 30) wenigstens zwei Temperaturen (T1, T2) des Kältemittels ermittelt werden,  
15 mit Hilfe von mindestens einem in dem Kreislauf (10) angeordneten Drucksensor (36) zumindest ein Druck (P1) des Kältemittels ermittelt wird,  
aus den ermittelten Kältemitteltemperaturen und dem ermitteltem Kältemitteldruck Enthalpien (H1, H2, H3) des Kreislaufs (10) berechnet werden,  
20 aus Differenzen der berechneten Enthalpien die Heizleistung (Qh) und die aufgenommene elektrische Leistung (Qel) der Kältemaschine berechnet werden und  
aus dem Quotienten der berechneten Heizleistung (Qh) und der berechneten aufgenommenen elektrischen Leistung (Qel) die Leistungszahl (COP) der Kältemaschine bestimmt wird.
- 25
5. Verfahren nach Anspruch 4,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
eine erste Temperatur (T1) im Bereich des Eingangs des Verdichters (14), eine zweite Temperatur (T2) im Bereich des Ausgangs des Verflüssigers (16) und ein erster Druck (P1) im Bereich des Ausgangs des Verdampfers (12) ermittelt wird.
- 30
6. Verfahren nach Anspruch 5,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
eine dritte Temperatur (T4) ermittelt wird und zur Bestimmung der Leistungszahl herangezogen wird, wobei die dritte Temperatur (T4) insbesondere im Bereich des Ausgangs des Verdichters (14) ermittelt wird.
- 35
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
ein zweiter Druck (P2) ermittelt wird und zur Bestimmung der Leistungszahl herangezogen wird, wobei der zweite Druck (P2) insbesondere im Bereich des Ausgangs des Verflüssigers (16) ermittelt wird.
- 40
8. Kältemaschine, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3, die einen ein Kältemittel aufweisenden geschlossenen Kreislauf (10) umfasst, in dem ein Verdampfer (12), ein Verdichter (14), ein Verflüssiger (16), ein Expansionsventil (18) und mindestens drei Temperatursensoren (28, 30, 32) zur Ermittlung von Temperaturen des Kältemittels angeordnet sind, wobei die Temperatursensoren (28, 30, 32) zur Bestimmung der Leistungszahl (COP) der Kältemaschine mit einer Auswerteeinrichtung (26) verbunden sind, die dazu ausgebildet ist, aus den ermittelten Temperaturen des Kältemittels (T1, T2, T3) die Leistungszahl (COP) des Kreislaufs (10) zu bestimmen.
- 45
9. Kältemaschine nach Anspruch 8,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
ein erster Temperatursensor (28) im Bereich des Eingangs des Verdichters (14), ein zweiter Temperatursensor (30) im Bereich des Ausgangs des Verflüssigers (16) und ein dritter Temperatursensor (32) im Bereich des Ausgangs des Expansionsventils (18) angeordnet ist.
- 50
10. Kältemaschine nach Anspruch 8 oder 9,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
ein vierter Temperatursensor (34) im Bereich des Ausgangs des Verdichters (14) angeordnet und mit der Auswerteeinrichtung (26) verbunden ist.
- 55

## EP 2 196 740 A2

- 5 11. Kältemaschine, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 4 bis 7, die einen ein Kältemittel aufweisenden geschlossenen Kreislauf (10) umfasst, in dem ein Verdampfer (12), ein Verdichter (14), ein Verflüssiger (16), ein Expansionsventil (18), mindestens zwei Temperatursensoren (28, 30) und zumindest ein Drucksensor (36) zur Ermittlung der Temperaturen (T1, T2) und des Drucks (P1) des Kältemittels angeordnet sind, wobei die Temperatursensoren (28, 30) und der Drucksensor (36) zur Bestimmung der Leistungszahl (COP) der Kältemaschine mit einer Auswerteeinrichtung (26) verbunden sind, die dazu ausgebildet ist, aus den ermittelten Temperaturen (T1, T2) des Kältemittels und dem ermittelten Druck (P1) des Kältemittels die Leistungszahl (COP) des Kreislaufs (10) zu bestimmen.
- 10 12. Kältemaschine nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein dritter Temperatursensor (34) im Bereich des Ausgangs des Verdichters (14) angeordnet und mit der Auswerteeinrichtung (26) verbunden ist.
- 15 13. Kältemaschine nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein zweiter Drucksensor (38) im Bereich des Ausgangs des Verflüssigers (16) angeordnet und mit der Auswerteeinrichtung (26) verbunden ist.
- 20 14. Kältemaschine nach einem der Ansprüche 8 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auswerteeinrichtung (26) dazu ausgebildet ist, aus den ermittelten Temperaturen bzw. Drücken des Kältemittels Enthalpien (H1, H2, H3) des Kreislaufs (10) zu berechnen und aus den berechneten Enthalpien (H1, H2, H3) die Heizleistung (Qh) und die aufgenommene elektrische Leistung (Qel) der Kältemaschine zu berechnen, um hieraus  
25 die Leistungszahl (COP) des Kreislaufs (10) zu bestimmen.
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

Fig.1

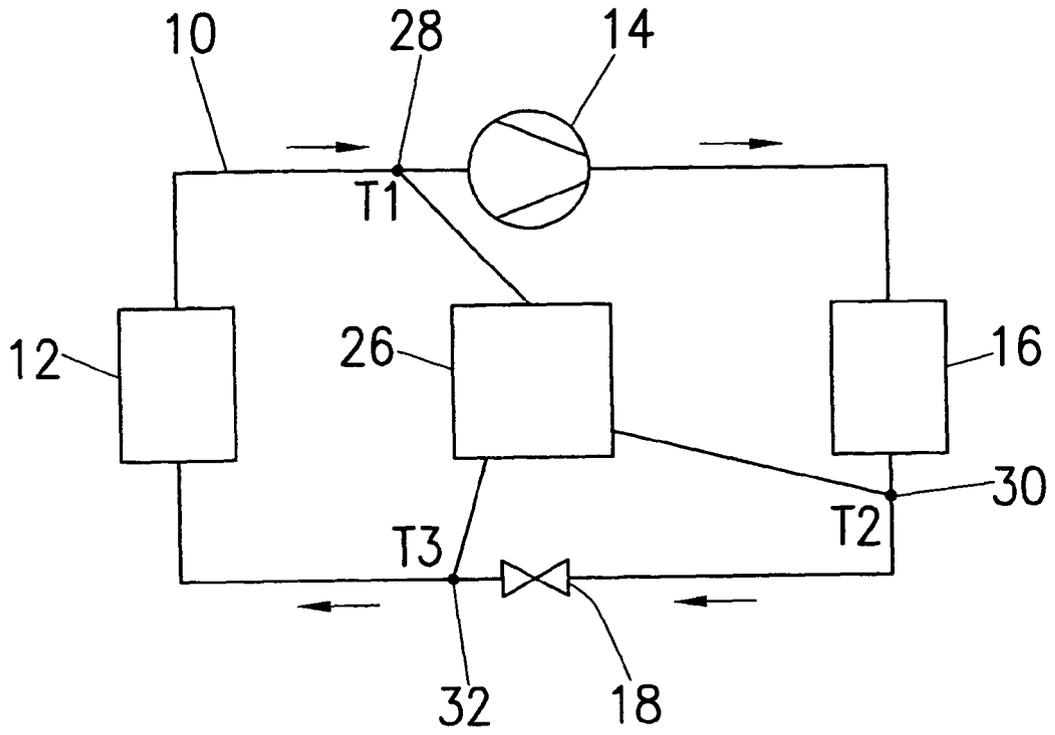


Fig.2

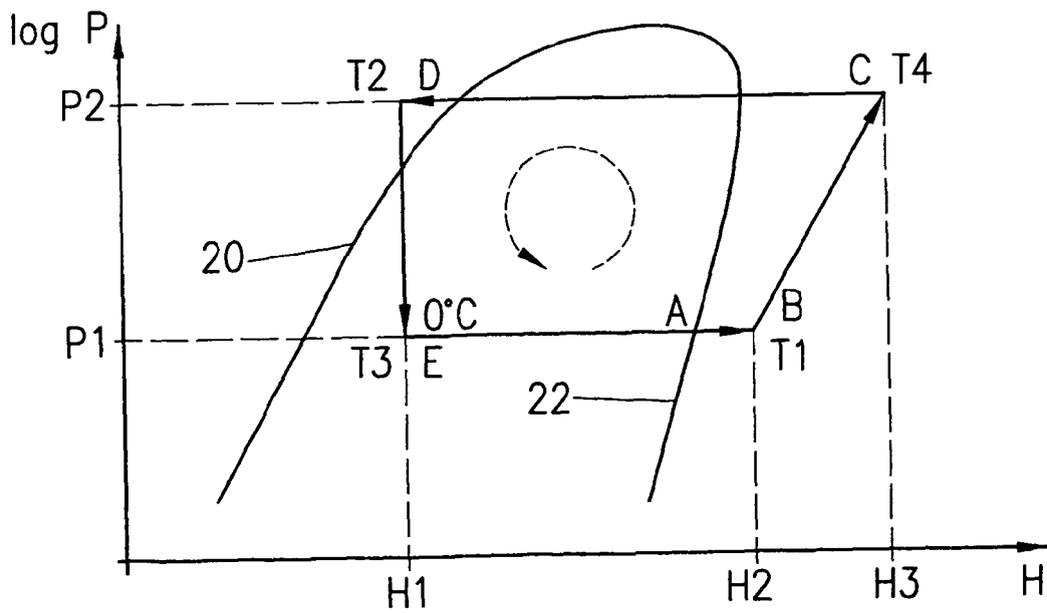


Fig.3

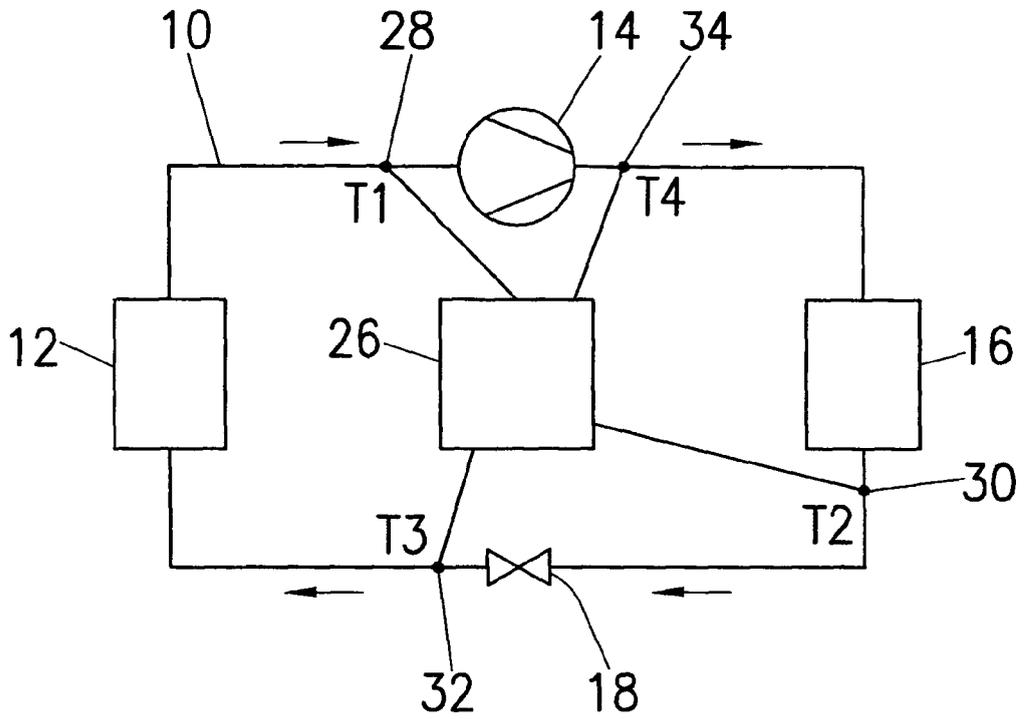


Fig.4

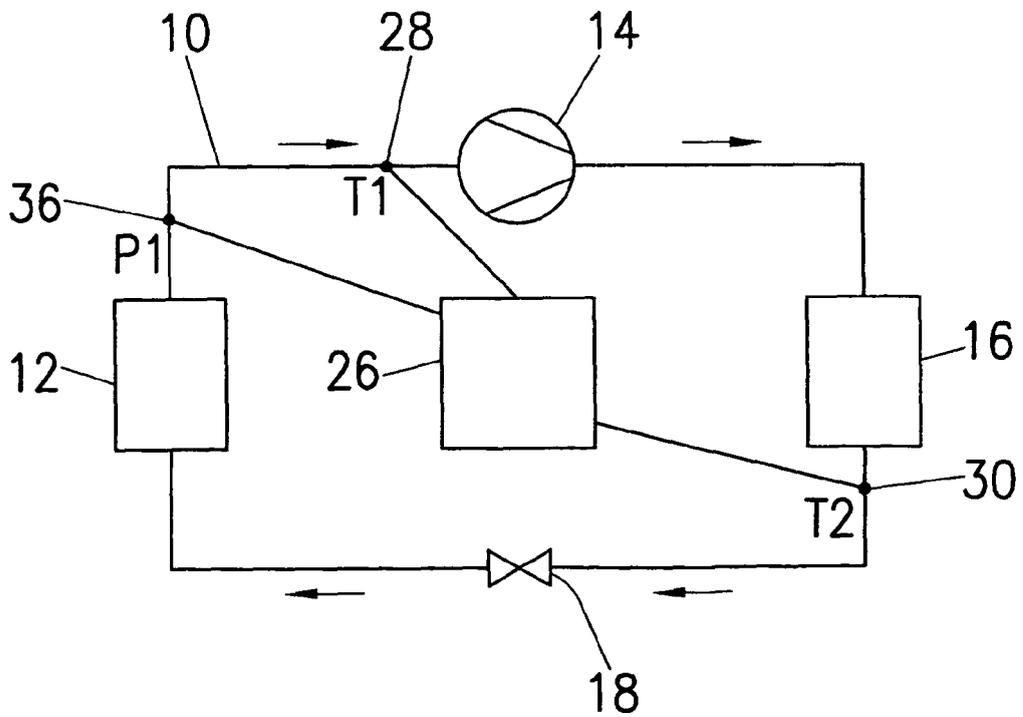


Fig.5

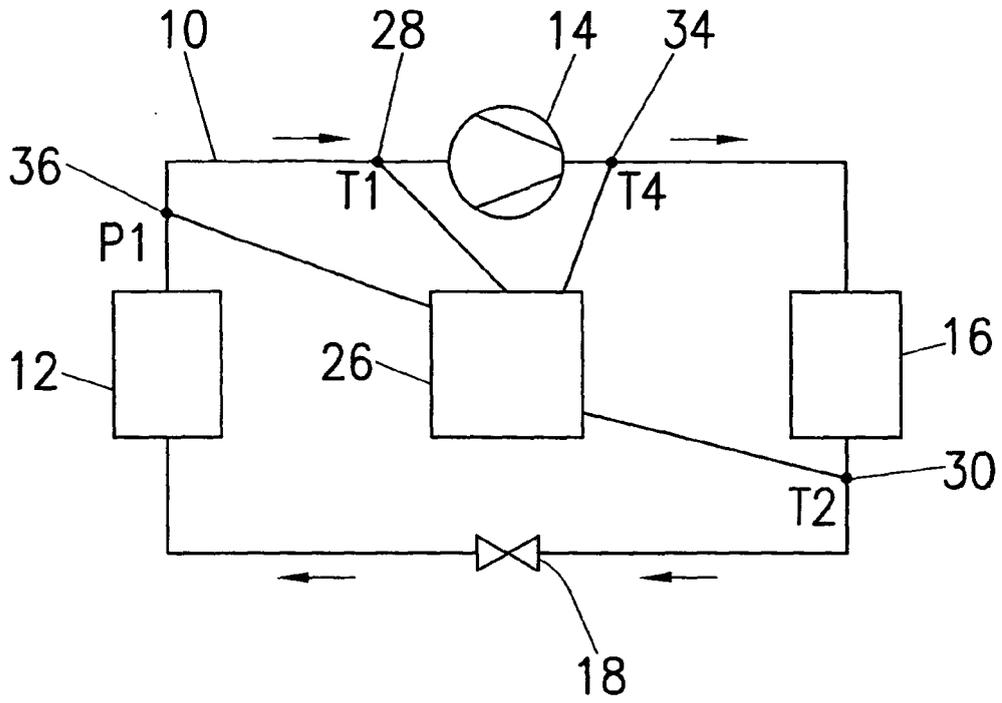


Fig.6

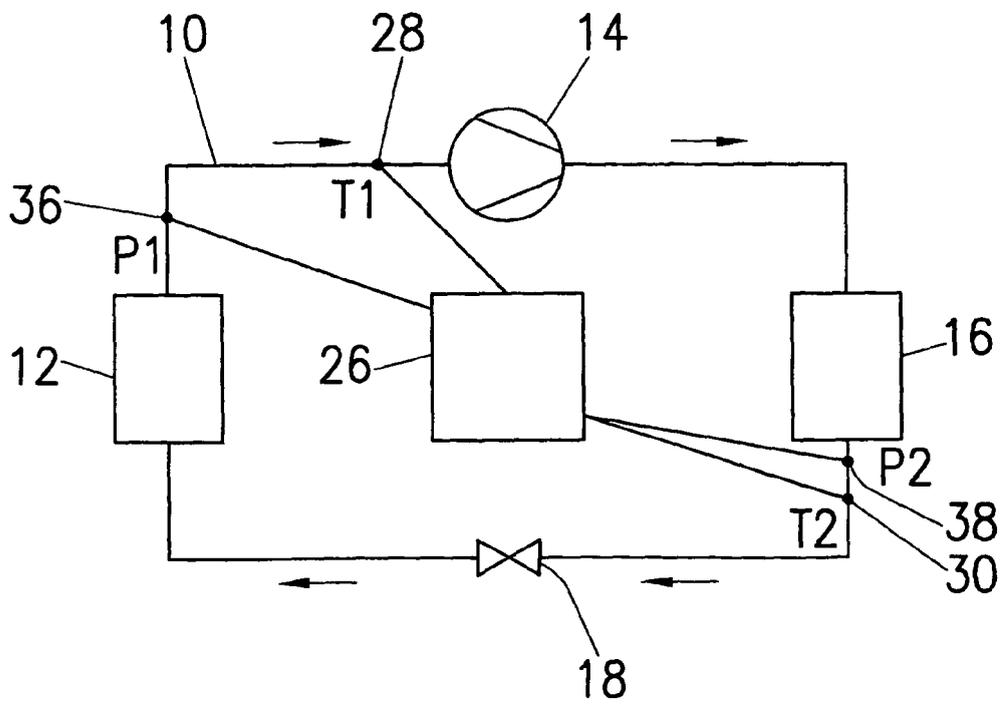


Fig.7

