



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
03.09.2008 Patentblatt 2008/36

(51) Int Cl.:
F25B 49/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08003324.4**

(22) Anmeldetag: **23.02.2008**

(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 MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA MK RS

(71) Anmelder: **STIEBEL ELTRON GmbH & Co. KG**
37603 Holzminden (DE)

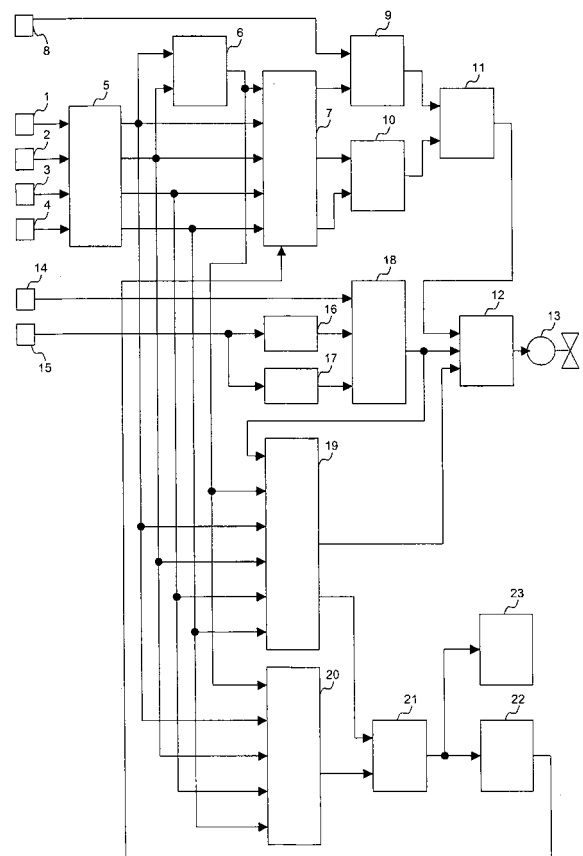
(72) Erfinder: **Herrs, Martin**
37671 Höxter (DE)

(30) Priorität: **02.03.2007 DE 102007010647**

(54) **Verfahren zum Kalibrieren einer Kälteanlage und eine Kälteanlage**

(57) Es wird ein Verfahren zum Steuern einer Kälteanlage vorgesehen, welches ein Kältemittel, einen Verdampfer, einen Verdichter, einen Verflüssiger und ein elektronisch ansteuerbares Drosselorgan aufweist. Es erfolgt ein Umschalten von einer normalen Betriebsart in eine Kalibrier-Betriebsart. Weiterhin werden durch Anfahren eines speziellen Betriebszustandes, in dem sich eine bekannte physikalische Abhängigkeit zwischen Prozesswerten des Kältekreises zumindest annähernd einstellt, die jeweiligen Prozesswerte erfasst. Kalibrierwerte werden gebildet zum Beschreiben eines Fehlereinflusses auf Teile der Kälteanlage basierend auf den erfassten Prozesswerten. Basierend auf den Kalibrierwerten wird mindestens ein Korrekturwert ermittelt und zur normalen Betriebsart zurückgekehrt. Weiterhin wird eine Kälteanlage beschrieben, die zum Auslösen einer Kalibrierung eine Kalibriererauslöseeinheit sowie eine Anlaufsteuereinheit zum Anfahren eines speziellen Betriebszustandes der Kälteanlage aufweist. Mit Hilfe einer Recheneinheit werden Kalibriergrößen zur Beschreibung eines Fehlereinflusses auf Teile der Kälteanlage ermittelt und mit einer Korrektureinheit mindestens ein Korrekturwert basierend auf den ermittelten Kalibrierwerten gebildet.

Fig. 2



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Kalibrieren einer Kompressionskälteanlage und eine Kompressionskälteanlage mit einem Kältemittel, einem Verdampfer, einem Verdichter, einem Verflüssiger und einem Drosselorgan.

[0002] Bei einer Kompressionskälteanlage wird prinzipiell das im Kältekreis der Kompressionskälteanlage befindliche Kältemittel im Verdampfer durch Wärmeentzug des zu kühlenden Mediums verdampft. Im Verdichter erfolgt eine Druck- und damit Temperaturerhöhung des Kältemittels. Anschließend wird das Kältemittel im Verflüssiger unter Wärmeabgabe wieder verflüssigt. Durch das Drosselorgan wird das Kältemittel auf den Verdampfungsdruck entspannt.

[0003] Derartige Kompressionskälteanlagen werden z. B. für die Beheizung von Räumen und die Bereitung von Brauchwasser eingesetzt, wobei beides nachfolgend als Wärmesenke bezeichnet wird.

[0004] Die Regelung der Wärmesenkentemperatur erfolgt üblicherweise durch Ein- und Ausschalten des Verdichters bzw. durch Modulation der Verdichterdrehzahl. Solche Verfahren sind beispielsweise aus der EP 1 355 207 A1 oder DE 43 03 533 A1 bekannt. Weiterhin ist es Aufgabe einer derartigen Regelung, den Wirkungsgrad des Verdampfers und damit des Kältekreises zu optimieren. Der Wirkungsgrad des Verdampfers hängt u. a. von seinem Befüllungsgrad ab, also davon, welcher Teil des Verdampfers mit Nassdampf und welcher Teil des Verdampfers mit überhitztem Kältemittel gefüllt ist. Je höher der Nassdampfanteil ist, desto geringer ist die Überhitzung und desto besser ist der Wirkungsgrad.

[0005] Als Regelgröße für die Verdampferregelung wird bevorzugt die Überhitzung des Kältemittels am Verdampferausgang verwendet (nachfolgend auch als Überhitzung bezeichnet). Diese Überhitzung des Kältemittels lässt sich bevorzugt aus dem Verdampferdruck p_0 und der Temperatur T_{0h} des überhitzten Kältemittels am Verdampferausgang bestimmen. Temperatur und Druck lassen sich durch geeignete Messaufnehmer messen. Die Differenz aus Verdampferausgangstemperatur T_{0h} und Verdampfungstemperatur T_0 , welche die Temperatur des Kältemittels während der Verdampfung ohne Überhitzung repräsentiert, wird berechnet und stellt die Ist-Überhitzung ΔT_{0h-ist} des Kältemittels am Verdampferausgang dar (das im Folgenden auch als Überhitzung bezeichnet wird).

[0006] Ein Überhitzungsregler ermittelt die Differenz von Überhitzungs-Ist- und Sollwert. In Abhängigkeit der Regelabweichung wird die Stellgröße, hier das Drosselorgan, eingestellt.

[0007] Im praktischen Betrieb können Fehler bei der Ermittlung des Istwertes der Verdampferüberhitzung auftreten, beispielsweise durch Fehler des Verdampferdrucksensors, durch Fehler des Verdampferausgangstemperatursensors, durch Fehler bei der Messung des elektrischen Ausgangssignals des Verdampferdrucksensors, durch Fehler bei der Berechnung des Verdampferdruckes aus dem gemessenen elektrischen Ausgangssignal des Verdampferdrucksensors, durch Fehler bei der Messung des elektrischen Ausgangssignals des Verdampferausgangstemperatursensors, durch Fehler bei der Berechnung des Verdampferdruckes aus dem gemessenen elektrischen Ausgangssignal des Verdampferausgangstemperatursensors, oder durch Fehler oder durch Berechnungsungenauigkeiten bei der Berechnung der Überhitzung im Regler, z. B. Berechnungsungenauigkeiten bei der Berechnung der Verdampfungstemperatur T_0 aus dem Verdampferdruck.

[0008] Fehler bei der Ermittlung des Istwertes der Überhitzung können dazu führen, dass beispielsweise der Kältekreis in einem weniger effizienten Arbeitspunkt betrieben wird.

[0009] Ist die aus fehlerbehafteten Messwerten berechnete Ist-Überhitzung größer als die reale Ist-Überhitzung im Kältekreis, so wird eine reale Ist-Überhitzung von OK als eine Überhitzung von größer OK angenommen und unter Umständen sogar ausgegeregelt. Der Überhitzungsregler wird dann gegebenenfalls eine zu geringe reale Überhitzung (unter Umständen OK) einregeln, was zu Verdichterschäden führen kann.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zum Kalibrieren einer Kälteanlage und eine entsprechende Kälteanlage vorzusehen, wobei die Funktion der Sensoren und Aktoren der Kälteanlage geprüft wird und ein möglicher Fehlereinfluss auf die gemessenen und berechneten Prozesswerte ermittelt und gegebenenfalls korrigiert wird.

[0011] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Kalibrieren einer Kälteanlage gemäß Anspruch 1 sowie durch eine Kälteanlage gemäß Anspruch 5 gelöst.

[0012] Die Erfindung betrifft den Gedanken, ein Verfahren zum Kalibrieren einer (Kompressions-)Kälteanlage vorzusehen. Dazu wird ein Kalibrierbedarf erkannt. Der ursprüngliche Betriebszustand wird verlassen, und es wird ein Betriebszustand zur Kalibrierung der Messwertaufnahme, d. h. der Sensoren und der Messwertverarbeitung im Regler, eingestellt. Die Kalibrierung wird durch Anfahren eines speziellen Betriebszustandes bzw. Arbeitspunktes, in welchem sich eine (durch eine Formel beschreibbare) physikalische Abhängigkeit zwischen Prozesswerten des Kältekreises und ggf. Werkstoffkenngrößen zumindest annähernd einstellt. Der Zeitpunkt oder Zeitraum wird erkannt, in dem die durch eine Formel beschreibbare physikalische bzw. werkstofftechnische Abhängigkeit zwischen Prozesswerten für die Berechnung der Kalibrierwerte gilt. Der oder die während der Kalibrierung ermittelte Prozesswert(e) wird unter Verwendung der oben zu Grunde liegenden physikalischen Abhängigkeit verrechnet, und Kalibrierwerte werden gebildet, welche die Funktion und den Fehlereinfluss auf die Sensoren, die Messwertaufnahme und Verarbeitung und ggf. die Aktorik beschreiben. Die Kalibrierwerte werden im Hinblick auf Fehlerzustände bewertet, gegebenenfalls erfolgt die Berechnung von Korrekturkennwerten zur Korrektur der Sensorsignale. Der Betriebszustand Kalibrieren wird verlassen, und der

ursprüngliche Betriebszustand wird eingestellt.

[0013] Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen veranschaulicht.

- 5 Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Kompressionskälteanlage gemäß der Erfindung, und
 Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung des Reglers der Kältemaschine von Fig. 1.

[0014] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Kompressionskälteanlage. Die Kälteanlage weist einen Verdampfer 31, einen Verdichter 32, einen Verflüssiger 33 und ein elektronisch ansteuerbares Drosselorgan bzw. ein Expansionsventil 13 auf, welche durch ein Leitungssystem verbunden sind, durch welches das Kältemittel geleitet wird. Ferner wird ein Regler 40 zur Regelung des Expansionsventils 13 vorgesehen.

[0015] Eine erste Messeinheit 1 dient dazu, die Temperatur des verdampften Kältemittels zu messen. Eine zweite Messeinheit 2 dient dazu, den Verdampferausgangsdruck zu messen. Eine dritte Messeinheit 3 dient dazu, die Temperatur des verflüssigten Kältemittels zu messen. Eine vierte Messeinheit 4 dient dazu, den Verflüssigerdruck zu messen. Die erste, zweite, dritte und vierte Messeinheit 1 - 4 sind mit einem Regler 40 gekoppelt, welcher das Expansionsventil 13 basierend auf den durch die Messeinheiten 1 - 4 ermittelten Werten steuert.

[0016] Durch Wärmezufuhr auf niedrigem Temperaturniveau wird ein Medium mit tiefem Siedepunkt ("Kältemittel", heute meist Ozon-unschädliche FCKWs oder natürliche Stoffe) im Verdampfer 31 verdampft, die gasförmige Phase wird in einem Verdichter 32 verdichtet und dadurch erhitzt. Unter hohem Druck stehend gibt das Arbeitsmittel bzw. das Kältemittel seine Wärme zur Nutzung am Verflüssiger 33 ab (Heizungswasser, Luftstrom) und kondensiert dabei. Durch ein Expansionsventil 13 tritt das Arbeitsmittel wieder in den Teilkreislauf mit geringem Druck ein und wird wiederum dem Verdampfer 31 zugeführt, an dessen Ausgang der Verdampferdruck mit der Messeinheit 2 und die Temperatur des verdampften Kältemittels mit der Messeinheit 1 bestimmt wird. Aus dem ermittelten Verdampferdruck und der Temperatur des verdampften Kältemittels am Verdampferausgang lässt sich mit Hilfe von Kältemitteldaten die Überhitzung des Kältemittels am Verdampferausgang bestimmen bzw. ableiten.

[0017] Die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle und dem Kältemittel ermöglicht einen Wärmestrom zum Verdampfer 31. Anschließend wird der Kältemitteldampf vom Verdichter 32 angesaugt und komprimiert. Die Temperatur des Kältemittels wird dabei auf ein höheres Temperaturniveau "gepumpt", welches i. A. oberhalb dessen der Wärmeverteilung liegt. Am Verflüssiger 33 liegt wieder eine Temperaturdifferenz vor, und es kommt zu einem Wärmestrom, in Richtung Wärmeverteilung. Das unter Hochdruck stehende Kältemittel kühlt wieder ab und kondensiert. Am Ausgang des Verflüssigers wird der Verflüssigerdruck mit der Messeinheit 4 und die Temperatur des verflüssigten Kältemittels mit der Messeinheit 3 bestimmt. Anschließend wird das Kältemittel über ein Expansionsventil 13 entspannt. Der gesamte Vorgang erfolgt erneut und befindet sich dadurch in einem Kreisprozess.

[0018] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Reglers einer Kältemaschine von Fig. 1. Der Regler für den Kältekreis der Kältemaschine weist eine Messwerterfassungs- und -verarbeitungseinheit 5, eine Berechnungseinheit 6, eine Modellbildeeinheit 10, eine erste Bestimmungseinheit 9 und eine zweite Bestimmungseinheit 11 sowie eine Auswahlinheit 12 auf. Der Regler dient dabei zur Regelung der Überhitzung des Kältemittels am Verdampferausgang.

[0019] Die Messwerterfassungs- und -verarbeitungseinheit 5 dient zur Erfassung und Verarbeitung der Messwerte der Messeinheiten 1 - 4. Diese in der Regel elektrischen Signale der Messeinheiten 1 - 4 werden anhand der Messwerterfassungs- und -verarbeitungseinheit 5 in Messwerte umgerechnet und ggf. von Störeinflüssen wie beispielsweise eine 50 Hz-Überlagerung befreit. Die erste Bestimmungseinheit 9 bestimmt einen Stellwert W_1 für das Expansionsventil 13 in Abhängigkeit der Abweichung einer Ist-Überhitzung und einer Soll-Überhitzung des Kältemittels. Die Berechnungseinheit 6 berechnet die momentane Ist-Überhitzung des Kältemittels am Verdampferausgang basierend auf dem Verdampferausgangsdruck und der Verdampferausgangstemperatur. Aus dem Vergleich der Ist-Überhitzung mit der Soll-Überhitzung wird der erste Stellwert für das Expansionsventil 13 in der ersten Bestimmungseinheit bestimmt. Der erste Stellwert W_1 betrifft den Öffnungswinkel des Expansionsventils, so dass der Lauf des Kältemittels im Kreislauf reguliert wird. Wenn die Ist-Überhitzung größer als die Soll-Überhitzung ist, so fährt das Stellorgan 13 auf, d. h. das erste Stellsignal wird größer. Ist die Ist-Überhitzung kleiner als die Soll-Überhitzung, so fährt das Stellorgan 13 zu, d. h. das erste Stellsignal wird kleiner. Der Regler der Einheit 9 kann dabei als ein P, PI, I oder PID-Regler ausgeführt sein.

[0020] Eine Modellbildeeinheit 10 dient dazu, ein Modell zu bilden, welches den Kältemittelmassenstrom am Verdampfereingang mit dem Kältemittelmassenstrom am Verdampferausgang vergleicht und einen zweiten Stellwert W_2 für das Expansionsventil 13 anhand des Modells aus dem Verdampferdruck, dem Verflüssigerdruck und kältekreisspezifischen Größen berechnet.

[0021] Eine zweite Bestimmungseinheit 11 dient dazu, einen dritten Stellwert W_3 für das Expansionsventil 13 durch Verknüpfung des ersten Stellwerts W_1 mit dem zweiten Stellwert W_2 zu bestimmen. Eine Stelleinheit zum Einstellen des Expansionsventils 13 auf den dritten Stellwert W_3 wird ebenfalls vorgesehen.

[0022] Eine Auswahlinheit 12 dient der Auswahl des Stellsignals in Abhängigkeit der Betriebsart des Kältekreisreglers und schaltet in Abhängigkeit von der Betriebsart des Kältekreisreglers Stellsignale aus unterschiedlichen Quellen an

das Expansionsventils 13 weiter. In der Betriebsart Heizen wird das Stellsignal aus der zweiten Bestimmungseinheit 11 zum Bestimmen eines dritten Stellwertes W_3 an das Expansionsventil 13 weitergeschaltet. In der Betriebsart Stand-by wird das Stellsignal mit Null Prozent Öffnungsgrad an das Expansionsventil 13 weitergeschaltet. In der Betriebsart Abtauen wird das Stellsignal aus der Bestimmungseinheit zum Bestimmen eines Stellwertes für Abtaubetrieb an das Expansionsventil 13 weitergeschaltet.

[0023] Eine Erkennung des Kalibrierbedarfes erfolgt zyklisch, beispielsweise bei Überschreiten einer vorbestimmten Anzahl von Verdichterstarts und/oder beim Überschreiten einer vorbestimmten Verdichterlaufzeit oder bei einer Detektion von Unregelmäßigkeiten im Regelbetrieb des Kältekreises wie z.B. Verlassen des Regelabweichungstoleranzbandes für eine vorbestimmte Zeit. Für die Auslösung der Kalibrierung ist es bei erkanntem Kalibrierbedarf notwendig, dass sich der für die Durchführung der Kalibrierung erforderliche Betriebszustand des Kältekreises eingestellt hat. So wird die Kalibrierung beispielsweise erst dann ausgelöst, wenn die für eine Kalibrierung erforderliche Betriebsart oder ein Betriebsartübergang erreicht ist, wenn sich die Regelabweichung der Überhitzung innerhalb eines vorgegebenen Bandes befindet, wenn sich der Hoch- und der Niederdruck innerhalb vorgegebener Grenzen befindet.

[0024] Ist eine Kalibrierung ausgelöst, wird der Aktor im Regelkreis, hier das elektronische Expansionsventil, während der Kalibrierung nicht durch die für den normalen Regelbetrieb steuernden Mittel (hier Stelleinheit zum Einstellen des Expansionsventils 13 auf den dritten Stellwert W_3) angesteuert, sondern wird durch eine Einheit 19 zur Steuerung des Kalibrierverlaufes angesteuert.

[0025] Diese Einheit 19 steuert Aktoren im Regelkreis, beispielsweise das elektronische Expansionsventil oder auch andere Aktoren wie Verdichter, Ventile etc. nach einem für die Kalibrierung geeigneten Steuerprogramm. Der Verlauf des Steuerprogramms kann auch während der Kalibrierung in Abhängigkeit von sich dabei einstellenden Prozesswerten beeinflusst werden. Während der Kalibrierung werden die für die Kalibrierung relevanten Prozesswerte gemessen, und als Funktion über die Zeit in einem Funktionsblock gespeichert. Weiterhin werden relevante sich aus einer physikalischen Verknüpfung der gemessenen Prozesswerte ergebende berechnete Prozesswerte (beispielsweise eine aus Verdampfdruck und Verdampferausgangstemperatur berechnete Überhitzung) auch als Funktion über die Zeit in einer Speichereinheit 20 gespeichert.

[0026] Durch die Analyse der physikalischen Abhängigkeiten im Kältekreis ist es möglich, den Ablauf einer Kalibrierung so zu gestalten, dass während der Kalibrierung ein spezieller Betriebszustand bzw. Arbeitspunkt angefahren wird, in welchem sich eine vorzugsweise durch eine Formel beschreibbare physikalische Abhängigkeit zwischen Prozesswerten des Kältekreises und ggf. Werkstoffkenngrößen von den Kältekreis beeinflussenden Medien einstellt oder annähernd einstellt. Diese durch eine Formel beschriebene physikalische Abhängigkeit wird zur Überprüfung der Funktion der Sensoren 1 - 4 genutzt. Den Kältekreis beeinflussende Medien können beispielsweise das Kältemittel selbst oder das kondensierende und vereisende bzw. tauende Wasser an den Verdampferlamellen sein.

[0027] Der Verlauf der Prozesswerte während der Kalibrierung hat gegebenenfalls Einfluß auf die Steuerung der Aktoren während der Kalibrierung, beispielsweise das elektronische Expansionsventil oder auch andere Aktoren wie Verdichter, Ventile etc. Es kann so beispielsweise zur Konstanthaltung des Kältemittelvolumenstromes während einer Kalibrierung der Öffnungsgrad des Expansionsventils in Abhängigkeit von den gemessenen Werten von Hochdruck und Niederdruck gestellt werden.

[0028] Weiterhin wird die Gültigkeit der Kalibrierergebnisse oder der Abbruch einer Kalibrierung vom Verlauf der Prozesswerte während der Kalibrierung beeinflusst. In einer Recheneinheit 21 werden die während der Kalibrierung ermittelten Prozesswerte unter Verwendung einer die physikalische bzw. werkstofftechnische Abhängigkeit zwischen den Prozesswerten beschreibende Formel verrechnet und es werden Kalibrierwerte ermittelt, die einen Fehlereinfluss auf die Sensoren beschreiben. Hier erfolgt auch die Erkennung des Zeitpunktes oder Zeitraumes, in dem die durch eine Formel beschreibbare physikalische bzw. werkstofftechnische Abhängigkeit zwischen Prozesswerten für die Berechnung der Kalibrierwerte gilt.

[0029] Der Fehlereinfluss auf die gemessenen oder berechneten Prozesswerte wird in einer Vergleichseinheit 23 mit gerätespezifischen Grenzwerten verglichen, bei Überschreitung bzw. mehrmaliger Überschreitung können Fehlerzustände ausgelöst werden, die ggf. die Funktion des Gerätes einschränken.

[0030] Weiterhin kann ein detektierter Fehlereinfluss auf die gemessenen oder berechneten Prozesswerte dazu führen, dass gemessene oder berechnete Prozesswerte mit einem Korrekturterm so korrigiert werden, dass beim folgenden Betrieb der Fehlereinfluss verringert wird.

[0031] Nachfolgend werden die signalverarbeitenden Funktionsgruppen zur Kalibrierung für die Prozesswerte Verdampferüberhitzung, Verdampferausgangstemperatur und Verdampferdruck und Verflüssigerdruck detailliert beschrieben. Weiterhin ist dargestellt, wie das Zusammenspiel zwischen Kältekreisregler und Kalibriereinrichtung ausgestaltet werden kann.

[0032] Die Messwerterfassungs- und -verarbeitungseinheit 5 dient der Erfassung und Auswertung der Sensorsignale (Messeinheiten 1 - 4) aus dem Kältekreis. Die Sensorsignale werden ggf. mittels Tiefpass von Störsignalen (beispielsweise 50 Hz Brumm) befreit. Weiterhin erfolgt in der Berechnungseinheit 6 die Berechnung der Ist-Überhitzung aus Verdampferausgangstemperatur und Verdampferdruck. Bei eventuellem Nichtvorhandensein eines Verflüssigerdruck-

fühlers erfolgt die Berechnung des Verflüssigerdrucks aus der Verflüssigertemperatur.

[0033] Eine Korrekturereinheit 7 dient dazu, in Abhängigkeit der Kalibrierergebnisse und der daraus berechneten Korrekturterme ein oder mehrere Prozesswerte oder daraus abgeleitete Werte zu korrigieren, so dass Fehler bei der Regelung verringert werden.

[0034] Dem Regler 9 wird die Ist-Überhitzung $T_{oh\ ist}$ und Soll-Überhitzung $T_{oh\ Soll}$ zugeführt, und ein von der Regelabweichung beeinflusstes Stellsignal wird ausgegeben. In diesem Verfahrensschritt wird ein erster Stellwert für das Expansionsventil im Regelbetrieb berechnet. Anschließend wird ein zweites Stellsignal für das Expansionsventil im Regelbetrieb mit Hilfe der kältetechnischen Modellbilde-Einheit 10 erzeugt und in Einheit 11 mit dem von der Regelabweichung beeinflussten ersten Stellsignal zu einem Gesamtstellsignal verknüpft.

[0035] In der Auswahlereinheit 12 wird in Abhängigkeit des Betriebszustandes ausgewählt, welches Signal als Steuersignal an das Stellorgan weitergeleitet wird. Im Regelbetrieb wird das in Einheit 11 mathematisch verknüpfte und begrenzte Steuersignal weitergeleitet. Weitere Betriebsarten sind der Stand-by-Betrieb, der Abtaubetrieb oder der Kalibrierbetrieb. Im Stand-by-Betrieb ist das Stellsignal für das Expansionsventil üblicherweise 0 %, d.h. ganz geschlossen, im Abtaubetrieb ist das Expansionsventil zumindest dann geöffnet, wenn Kältemittel im Abtaubetrieb das Expansionsventil passieren soll.

[0036] Der Eingang 14 repräsentiert die aktuelle Betriebsart in Abhängigkeit von der Wärmeanforderung des Kältekreisreglers und der Eingang 15 den Schaltzustand des Verdichters (Ein / Aus). In der Einheit 16, d. h. dem ersten Zähler, wird ein Verdichterstartzähler nach jedem Verdichterstart inkrementiert. Beim Einschalten des Netzes für die Regelung, beim manuellen Reset oder nach jeder durchgeführten Kalibrierung, wird dieser Zähler wieder auf Null gesetzt. In der Einheit 17, d. h. dem zweiten Zähler, wird bei eingeschaltetem Verdichter ein Verdichterlaufzeitzähler inkrementiert. Beim Einschalten des Netzes für die Regelung, beim manuellen Reset oder nach jeder durchgeführten Kalibrierung wird dieser Zähler wieder auf Null gesetzt. In der Kalibrierauslöse-Einheit 18 wird der Start und das Ende einer Kalibrierung ausgelöst. Die Auslösung einer Kalibrierung erfolgt zyklisch, beispielsweise bei Überschreiten einer vorbestimmten Anzahl von Verdichterstarts des Verdichterstartzählers 16 und/oder beim Überschreiten einer vorbestimmten Verdichterlaufzeit des Verdichterlaufzeitzählers 17.

[0037] Alternativ ist es jedoch auch möglich, dass bei erkanntem Kalibrierbedarf der für die Durchführung der Kalibrierung erforderliche Betriebszustand des Kältekreis sofort durch das Mittel 18 zur Steuerung des Kalibrierverlaufes eingestellt wird, auch wenn ohne erkannten Kalibrierbedarf ein anderer Betriebszustand gesteuert würde. Es können auch weitere Bedingungen definiert werden, die für eine Kalibrierauslösung eingehalten werden müssen. So wird eine Kalibrierung beispielsweise nur dann ausgelöst, wenn die Regelabweichung der Überhitzung innerhalb eines vorgegebenen Bandes ist und/oder wenn sich der Hoch- und Niederdruck innerhalb vorgegebener Grenzen befindet. Die Kalibrierauslöse-Einheit 18 steuert die Auswahl-Einheit 12 für die Stellsignalauswahl für das Expansionsventil an.

[0038] In der Auswahl-Einheit 12 wird in der Betriebsart Regeln das in Einheit 11 erzeugte Stellsignal für das Expansionsventil im Regelbetrieb an das Expansionsventil weitergeleitet, oder bei der Betriebsart Kalibrieren wird das in der Ablaufsteuer-Einheit 19 erzeugte Stellsignal für das Expansionsventil im Kalibrierbetrieb an das Expansionsventil weitergeleitet.

[0039] In der Ablaufsteuer-Einheit 19 wird eine Ablaufsteuerung implementiert, welche bei Freigabe der Kalibrierung durch die Kalibrierauslöse-Einheit 18 in Abhängigkeit von Eingangsgrößen wie Sensorwerten aus dem Kältekreis und einem durch die Eingangsgrößen beeinflussbaren einprogrammierten Ablaufprogramm Stellsignale an Aktoren im Kältekreis wie Expansionsventil, Abtauventil, Verdichter etc. sendet.

[0040] Während der Kalibrierung leitet die Einheit 12 diese Stellsignale an Aktoren, beispielsweise an das Expansionsventil, weiter. In einer Speichereinheit 20 werden während der Kalibrierung Eingangsgrößen wie Sensorwerte aus dem Kältekreis, aber auch durch mathematische Verknüpfung von Eingangsgrößen gewonnene Größen wie Überhitzung in ihrem Verlauf gespeichert. In einer Recheneinheit 21 werden die während der Kalibrierung ermittelten Prozesswerte unter Verwendung einer die physikalische Abhängigkeit zwischen den Prozesswerten und ggf. Werkstoffkenngrößen beschreibenden Formel verrechnet, und es werden Kalibrierwerte ermittelt, die einen Fehlereinfluss auf die Sensoren und/oder auf einen Fehler in der Signalerfassung/Signalauswertung in der Regelung beschreiben. Ferner dient die Recheneinheit dazu, den Zeitpunkt oder den Zeitraum, in dem die durch eine Formel beschreibbare physikalische bzw. werkstofftechnische Abhängigkeit zwischen Prozesswerten für die Berechnung der Kalibrierwerte gilt, zu erkennen. Aus den Kalibrierwerten wird der Fehlereinfluss auf die gemessenen oder berechneten Prozesswerte bestimmt.

[0041] Der Fehlereinfluss auf die gemessenen Prozesswerte oder aus gemessenen Prozesswerten abgeleiteten Werte wird in einer Vergleichseinheit 23 mit gerätespezifischen Grenzwerten verglichen. Bei einer Überschreitung bzw. mehrmaliger Überschreitung können Fehlerzustände ausgelöst werden, die ggf. die Funktion des Gerätes einschränken.

[0042] Des Weiteren ist eine differenzierte Beurteilung der Kalibrierwerte hinsichtlich unterschiedlicher Fehlergrenzen möglich. Für die zulässige Abweichung des Kalibrierwertes vom Werkswert kann eine andere Grenze festgelegt werden, als für die zulässige Abweichung des Kalibrierwertes vom Mittelwert von einer bestimmten Anzahl der letzten Kalibrierungen. Es ist auch möglich, nur die Mittelwerte einer bestimmten Anzahl der letzten Kalibrierungen auf die Abweichungen vom Werkswert zu prüfen. Bei ein- oder mehrmaligen Überschreitungen der zulässigen Grenzen kann ein Fehlerzustand

ausgelöst werden, der beispielsweise zur Anzeige gebracht werden kann. Auch ist in Abhängigkeit vom Fehlerzustand eine Einschränkung des Betriebsbereichs des Reglers möglich.

[0043] Weiterhin kann ein detektierter Fehlereinfluss auf die gemessenen oder berechneten Werte dazu führen, dass gemessene Prozesswerte oder aus gemessenen Prozesswerten abgeleitete Werte mit einem Korrekturterm so korrigiert werden, dass beim folgenden Betrieb der Fehlereinfluss verringert wird. Eine Korrektur-Einheit 22 berechnet Korrekturterme für einen oder mehrere Prozesswerte oder daraus abgeleitete Werte, diese werden an eine Einheit 7 übergeben, die dann korrigierte Prozesswerte oder korrigierte, aus Prozesswerten abgeleitete Werte berechnet.

[0044] Ein Beispiel für einen Kalibrierablauf, die Bewertung der Prozesswerte unter Verwendung einer Formel und die Ermittlung von Kalibrierwerten sei hier genannt:

Ziel der Kalibrierung nach diesem Beispiel ist es, die Funktion der Drucksensoren im Kältekreis, Verdampferdrucksensor 2 und Verflüssigerdrucksensor 4, zu prüfen. Hierbei liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass bei ausgeschaltetem Verdichter und geöffnetem Expansionsventil die Messwerte der Druckaufnehmer im eingeschwungenen Zustand nach erfolgtem Druckausgleich in etwa gleiche Werte annehmen müssen. Beim Übergang vom Betriebszustand "Verdichter ein" zu "Verdichter aus" in der Betriebsart Regeln wird die Kalibrierung ausgelöst. Die Ablaufsteuerung 19 erzeugt dann ein Stellsignal für das Expansionsventil mit Öffnungsgrad 100 %, im Regelbetrieb wäre das Stellsignal bei ausgeschaltetem Verdichter üblicherweise 0 %, um eine Verlagerung von Kältemittel zu sperren.

[0045] In der Speicher-Einheit 20 werden die Signale der Drucksensoren im Kältekreis, d. h. Verdampferdrucksensor 2 und Verflüssigerdrucksensor 4, wie Sensorwerte aus dem Kältekreis als Eingangsgrößen in ihrem Verlauf während der Kalibrierung gespeichert.

[0046] In der Recheneinheit 21 werden die Signale der Drucksensoren, d. h. Verdampferdrucksensor 2 und Verflüssigerdrucksensor 4, während der Kalibrierung über eine Formel verrechnet. In diesem Fall wird der Kalibrierwert berechnet, indem die Differenz zwischen dem gemessenen Wert für Hochdruck und dem gemessenen Wert für Niederdruck gebildet wird.

[0047] Weiterhin erfolgt hier auch die Erkennung des Zeitpunktes oder Zeitraumes, in dem die durch eine Formel beschreibbare physikalische bzw. werkstofftechnische Abhängigkeit zwischen Prozesswerten für die Berechnung der Kalibrierwerte gilt. Als Zeitpunkt kann derjenige nach Start der Kalibrierung betrachtet werden, ab dem die Druckdifferenz zwischen Verdampferdrucksensor 2 und Verflüssigerdrucksensor 4 in den eingeschwungenen Zustand übergeht, also die Werteveränderung pro Zeit unterhalb einer festgelegten Schwelle ist.

[0048] Alternativ kann als Zeitpunkt derjenige nach Start der Kalibrierung betrachtet werden, nach dem aufgrund physikalisch rechnerischer Betrachtungen die Druckdifferenz zwischen Verdampferdrucksensor 2 und Verflüssigerdrucksensor 4 in den eingeschwungenen Zustand eingeschwungen sein sollte. Diese Zeit kann in der Kalibrierfunktion fest abgelegt werden. Der so ermittelte Kalibrierwert aus dem Differenzdruck im eingeschwungenen Zustand nach erfolgtem Druckausgleich kann zur Beschreibung des Fehlereinflusses auf die Messwerte der Sensoren verwendet werden. Ist beispielsweise der Fehler des Verdampferdrucksensors 2 mit Hilfe eines anderen Kalibrierverfahrens bekannt, kann der Fehler des Verflüssigerdrucksensors 4 mit Hilfe der oben beschriebenen Kalibrierprozedur berechnet werden.

[0049] In der Vergleichs-Einheit 23 wird dann der ermittelte Kalibrierwert, die Abweichung des Druckmesswertes der beiden Sensoren, im Hinblick auf zulässige Fehlergrenzen beurteilt. Die Fehlergrenzen können als Werkswerte in einem nichtflüchtigen Speicher des Reglers abgelegt sein.

[0050] In der Korrektur-Einheit 22 können aus dem ermittelten Kalibrierwert oder den ermittelten Kalibrierwerten Korrekturwerte berechnet werden, mit Hilfe derer in Einheit 7 die Messwerte der Sensoren bezüglich Offset und/oder Steigung der Kennlinie korrigiert werden können. Wenn beispielsweise der Fehler des Verdampferdrucksensors 2 als Funktion über seinen Druckbereich bekannt ist und im angenommenen Fall im gesamten Bereich gleich Null ist, so lässt sich der Fehler des Hochdruckfühlers mit Hilfe der oben beschriebenen Kalibrierung ermitteln. Führt man nun verschiedene Kalibrierungen in unterschiedlichen Drucklagen durch, so erhält man eine durch diese Stützstellen definierte Funktion des Fehlers des Verflüssigerdrucksensors 4 über den anliegenden Druck. Implementiert man diese Funktion in Einheit 7, können die Messwerte des Verflüssigerdrucksensors 4 bezüglich Offset und/oder Steigung der Kennlinie korrigiert werden. So ist es denkbar, dass hier gegebenenfalls die Messwerte eines oder beider Drucksensoren bei festgestellter Abweichung der Messwerte bei der Kalibrierung korrigiert werden.

[0051] Ein weiteres Beispiel für einen Kalibrierablauf zur Kalibrierung eines aus Prozesswerten abgeleiteten Wertes, die Bewertung der Prozesswerte unter Verwendung einer Formel und die Ermittlung von Kenngrößen wird nachfolgend beschrieben:

Hierbei soll die Funktion des Verdampferdrucksensors 2 und des Verdampfertemperatursensors 1 im Kältekreis und damit auch der Fehler bei der Ermittlung der Überhitzung geprüft werden.:

Hierbei liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass bei einem im Zustand des Nassdampfbereiches befindlichen Kältemittel eine durch eine Formel beschreibbare Abhängigkeit zwischen Druck des Kältemittels und Temperatur des Kältemittels besteht. Gelingt es während der Kalibrierung, diesen Zustand definiert anzufahren, so kann die Funktion des Verdampferdrucksensors 2 und des Verdampfertemperatursensors 1 im Kältekreis geprüft werden, indem beide Messwerte zueinander die durch die kältemittelspezifische Formel beschreibbare Abhängigkeit zwischen Druck des Kältemittels und Temperatur des Kältemittels aufweisen müssen. Der aus beiden Messwerten vom Verdampferdrucksensor 2 und Verdampfertemperatursensor 1 abgeleitete Wert der Überhitzung und der daraus bestimmte Kalibrierwert müssen bei ordnungsgemäßer fehlerfreier Funktion der Sensorik und Messwerterfassung einen Wert nahe Null aufweisen.

[0052] Beim Übergang vom Betriebszustand "Verdichter ein" zu "Verdichter aus" in der Betriebsart Regeln wird die Kalibrierung ausgelöst (im Regelbetrieb würde das Expansionsventil jetzt mit Öffnungsgrad von 0 % steuern). Um die physikalischen Bedingungen im Kältekreis von Kalibrierung zu Kalibrierung möglichst ähnlich zu gestalten, kann es erforderlich sein, weitere Kriterien für den Start einer Kalibrierung festzulegen. So kann beispielsweise die Kalibrierung erst dann gestartet werden, wenn die Betriebsart "Heizen" auf die Betriebsart "Stand-by" wechselt und die Zeitspanne nach Umschaltung von Betriebsart "Stand-by" auf Betriebsart "Heizen" mindestens 1 Minute (Heizen für mindestens eine Minute) vergangen und der Absolutwert der Regelabweichung Überhitzung < 10 K ist.

[0053] Die Ablaufsteuerung 19 erzeugt dann ein Stellsignal für das Expansionsventil mit einem vom Verlauf der Prozesswerte abhängigen Öffnungsgrad. Es wird dabei angestrebt, dass die in den Verdampfer eingespritzte Kältemittelmenge bei der Durchführung der Kalibrierung in etwa einen konstanten vorbestimmten Wert annimmt. Die Kältemittelmenge ist vorteilhaft so ausgelegt, dass die Zeitkonstanten der Temperaturfühler, des Verlaufes der Verdampferfüllung während der Kalibrierung aufeinander abgestimmt sind.

[0054] Der Öffnungsgrad des Expansionsventils beim Kalibrieren wird beispielsweise in Relation zu dem in Einheit 10 berechneten Stellwert für das Expansionsventil eingestellt werden.

[0055] In der Speichereinheit 20 werden während der Kalibrierung als Eingangsgrößen die Signale der Drucksensoren im Kältekreis Verdampferdrucksensor 2 und Verdampfertemperatursensor 1 sowie der daraus berechnete Wert der Überhitzung in ihrem Verlauf gespeichert. In der Recheneinheit 21 wird der während der Kalibrierung ermittelte Wert der Überhitzung zum Kalibrierwert verrechnet. Eine einfache Möglichkeit zur Berechnung des Kalibrierwert ist es, das Minimum des Wertes der Überhitzung während der Kalibrierung zu ermitteln, dieser Wert stellt dann den Kalibrierwert dar. Dieses Verfahren hat jedoch den Nachteil, dass Störeinflüsse durch EMV etc. bei der Signalauswertung so ungefiltert den Kalibrierwert beeinflussen. Ein verbessertes Verfahren bewirkt eine Filterung des Wertes der Überhitzung. Zu Beginn der Kalibrierung wird der aktuelle Kalibrierwert auf einen normalerweise real nicht erreichbaren Wert eingestellt. Während des Verlaufes der Kalibrierung wird der Wert der Variable aktueller Kalibrierwert aus der Variable Überhitzung Verdampfer wie folgt berechnet:

a) Ist-Überhitzung < aktueller Kalibrierwert V (n-1), gilt :

$$\text{aktueller Kalibrierwert } V(n) = \text{aktueller Kalibrierwert } V(n-1) -$$

$$\text{Minimum } ((\text{aktueller Kalibrierwert } V(n-1) - \text{Überhitzung Verdampfer}); 1K)$$

bei einer Abtastrate von einer Sekunde.

Mit dieser Funktion werden Überhitzungssprünge von größer 1 K/sec auf 1 K/ sec begrenzt.

b) Ist-Überhitzung >= aktueller Kalibrierwert (n-1), gilt :

$$\text{aktueller Kalibrierwert } (n) = \text{aktueller Kalibrierwert } (n-1)$$

[0056] In der Recheneinheit 21 erfolgt auch die Erkennung des Zeitpunktes, in dem die durch eine Formel beschreibbare physikalische bzw. werkstofftechnische Abhängigkeit zwischen Prozesswerten für die Berechnung der Kalibrierwerte gilt. Als Zeitpunkt kann derjenige nach Start der Kalibrierung betrachtet werden, ab dem der Wert des aktuellen Kalibrierwertes V (n) in den eingeschwungenen Zustand übergeht, also die Werteveränderung pro Zeit unterhalb einer festgelegten Schwelle ist.

[0057] Alternativ kann als Zeitpunkt derjenige nach Start der Kalibrierung betrachtet werden, nach dem aufgrund physikalisch rechnerischer Betrachtungen der Wert des aktuellen Kalibrierwertes $V(n)$ in den eingeschwungenen Zustand eingeschwungen sein sollte, diese Zeit wird in der Kalibrierfunktion fest abgelegt. Weiterhin kann es erforderlich sein, den gewonnenen Kalibrierwert einer Plausibilitätsprüfung zu unterziehen, um sicherzustellen, dass der gewünschte zur

5 Kalibrierung erforderliche Betriebszustand des Kältekreis während der Kalibrierung auch erreicht wurde.
[0058] Folgendes Kriterium kann beispielsweise für die beschriebene Kalibrierung gelten: plausibel ist ein Kalibrierwert dann, wenn während des Verlaufes der Kalibrierung der gemessene Überhitzungswert für die Dauer von mindestens 10 Sekunden unterhalb des Wertes (minimaler Überhitzungswert während der Kalibrierung + 2 Kelvin) liegt. Mit diesem Kriterium soll sichergestellt werden, dass der Verlauf der Überhitzung für eine bestimmte Dauer innerhalb eines Toleranzbandes um das Minimum befindlich war. Der so ermittelte Kalibrierwert kann zur Beschreibung des Fehlereinflusses auf den aus Prozesswerten berechneten Wert der Überhitzung verwendet werden.

10 **[0059]** Liegt kein Fehler in den Messwerten und in der Messwertauswertung von Verdampferdrucksensor 2 und Verdampfertemperatursensor 1 und somit des Wertes der Überhitzung und des daraus bestimmten Kalibrierwertes vor, so muss bei ordnungsgemäßer fehlerfreier Funktion der Sensorik und Messwertaufzeichnung der Kalibrierwert nahe Null Kelvin sein. Unterscheidet sich der Kalibrierwert über ein durch Meßunsicherheiten bestimmtes Maß hinaus von Null Kelvin, so deutet dies auf eine fehlerhafte Abweichung des Verdampferdrucksensors 2 und/oder Verdampfertemperatursensors 1 hin.

15 **[0060]** Ist beispielsweise der Fehler des Verdampferdrucksensors 2 mit Hilfe eines anderen Kalibrierverfahrens bekannt, kann der Fehler des Verdampfertemperatursensors 1 mit Hilfe der oben beschriebenen Kalibrierprozedur berechnet werden. Ist beispielsweise der Fehler des Verdampfertemperatursensors 1 mit Hilfe eines anderen Kalibrierverfahrens bekannt, kann der Fehler des Verdampferdrucksensors 2 mit Hilfe der oben beschriebenen Kalibrierprozedur berechnet werden. Weiterhin ist es auch möglich, die Ursache eines durch Kalibrierung festgestellten Fehlers nicht einer fehlerhaften Abweichung des Verdampferdrucksensors 2 und/oder Verdampfertemperatursensors 1 zuzuordnen, sondern nur auf den sich aus den einzelnen Sensorwerten berechneten Wert der Überhitzung zu beziehen.

20 **[0061]** In der Vergleichs-Einheit 23 wird dann der ermittelte Kalibrierwert, die Abweichung der minimalen Überhitzung während der Kalibrierung vom Wert Null im Hinblick auf zulässige Fehlergrenzen beurteilt. Die Fehlergrenzen können als Werkswerte in einem nichtflüchtigen Speicher des Reglers abgelegt sein.

25 **[0062]** In der Korrektur-Einheit 22 können aus dem ermittelten Kalibrierwert oder den ermittelten Kenngrößen Korrekturwerte berechnet werden, mit Hilfe derer in der Einheit 7 die Messwerte der Sensoren in Offset und/oder Steigung der Kennlinie korrigiert werden können. Wenn verschiedene Kalibrierungen in unterschiedlichen Arbeitspunkten des Kältekreis durchgeführt werden, so erhält man eine durch diese Stützstellen definierte Funktion des Fehlers der Überhitzungsmessung über verschiedene Arbeitspunkte. Implementiert man diese Funktion in Einheit 7, können die Messwerte der Überhitzung in Offset und/oder Steigung der Kennlinie korrigiert werden.

30 **[0063]** Ein weiteres Beispiel für einen Kalibrierablauf zur Kalibrierung eines aus Prozesswerten abgeleiteten Wertes, die Bewertung der Prozesswerte unter Verwendung einer Formel und die Ermittlung von Kenngrößen wird nachfolgend beschrieben:

35 Ziel der Kalibrierung nach diesem Beispiel ist es ebenso wie im zuvor beschriebenen Fall, die Funktion des Verdampferdrucksensors 2 und des Verdampfertemperatursensors 1 im Kältekreis und damit auch den Fehler bei der Ermittlung der Überhitzung zu prüfen:

40 Zugrunde liegt auch hier die Erkenntnis, dass bei einem im Zustand des Nassdampfbereiches befindlichen Kältemittel eine durch eine Formel beschreibbare Abhängigkeit zwischen Druck des Kältemittels und Temperatur des Kältemittels besteht. Gelingt es während der Kalibrierung, diesen Zustand definiert anzufahren, so kann man die Funktion des Verdampferdrucksensors 2 und des Verdampfertemperatursensors 1 im Kältekreis prüfen, indem beide Messwerte zueinander die durch die kältemittelspezifische Formel beschreibbare Abhängigkeit zwischen Druck des Kältemittels und Temperatur des Kältemittels aufweisen müssen. Der aus beiden Messwerten Verdampferdrucksensor 2 und Verdampfertemperatursensor 1 abgeleitete Wert der Überhitzung und der daraus bestimmte Kalibrierwert müssen bei ordnungsgemäßer fehlerfreier Funktion der Sensorik und Messwertaufzeichnung einen Wert nahe Null aufweisen.

45 **[0064]** Die Kalibrierung erfolgt in der Betriebsart "Verdichter ein" in der Betriebsart Regeln. Um die physikalischen Bedingungen im Kältekreis von Kalibrierung zu Kalibrierung möglichst ähnlich zu gestalten, kann es erforderlich sein, weitere Kriterien für den Start einer Kalibrierung festzulegen: So wird beispielsweise die Kalibrierung erst gestartet, wenn die Zeitspanne nach Umschaltung von Betriebsart Standby auf Betriebsart Heizen mindestens 1 Minute (Heizen für mindestens eine Minute) und der Absolutwert der Regelabweichung Überhitzung $< 10 \text{ K}$ ist.

50 **[0065]** Die Ablaufsteuerung 19 erzeugt dann ein Stellsignal für das Expansionsventil mit einem sich vom normalen Regelbetrieb unterscheidenden Öffnungsgrad. Der Öffnungsgrad wird beim Kalibrieren so eingestellt, dass eine um

einen voreingestellten Faktor größere Kältemittelmenge in den Verdampfer eingespritzt wird, als die Menge, welche vor dem Start der Kalibrierung im Regelbetrieb eingespritzt wurde. Die Kältemittelmenge ist vorteilhaft so ausgelegt, dass die Kältemittelmenge ausreicht, um im anliegenden Arbeitspunkt des Verdampfers keine vollständige Verdampfung zu ermöglichen, so dass sich eine Überhitzung des Kältemittels am Verdampferausgang von Null Kelvin einstellen sollte.

Es ist auch möglich, den Öffnungsgrad des Expansionsventil im Kalibrieren beispielsweise in Relation zu dem in Block 10 berechneten Stellwert für das Expansionsventil einzustellen.

[0066] In der Speichereinheit 20 werden während der Kalibrierung als Eingangsgrößen die Signale der Drucksensoren im Kältekreis Verdampferdrucksensor 2 und Verdampfertemperatursensor 1 sowie der daraus berechnete Wert der Überhitzung in ihrem Verlauf gespeichert. In der Recheneinheit 21 wird der während der Kalibrierung ermittelte Wert der Überhitzung zum Kalibrierwert verrechnet.

[0067] Eine einfache Möglichkeit zur Berechnung des Kalibrierwertes ist es, das Minimum des Wertes der Überhitzung während der Kalibrierung zu ermitteln, dieser Wert stellt dann den Kalibrierwert dar.

[0068] Dieses Verfahren hat jedoch den Nachteil, dass Störeinflüsse durch EMV etc. bei der Signalauswertung so ungefiltert den Kalibrierwert beeinflussen. Ein verbessertes Verfahren bewirkt eine Filterung des Wertes der Überhitzung, wie auch im zuvor beschriebenen Kalibrierablauf verwendet.

[0069] In der Recheneinheit 21 erfolgt weiterhin auch die Erkennung des Zeitpunktes, in dem die durch eine Formel beschreibbare physikalische bzw. werkstofftechnische Abhängigkeit zwischen Prozesswerten für die Berechnung der Kalibrierwerte gilt. Als Zeitpunkt kann derjenige nach Start der Kalibrierung betrachtet werden, ab dem der Wert des aktuellen Kalibrierwertes $V(n)$ in den eingeschwungenen Zustand übergeht, also die Werteveränderung pro Zeit unterhalb einer festgelegten Schwelle ist.

[0070] Alternativ kann als Zeitpunkt derjenige nach Start der Kalibrierung betrachtet werden, nachdem aufgrund physikalisch rechnerischer Betrachtungen der Wert des aktuellen Kalibrierwertes $V(n)$ in den eingeschwungenen Zustand eingeschwungen sein sollte, diese Zeit wird in der Kalibrierfunktion fest abgelegt. Weiterhin kann es erforderlich sein, den gewonnenen Kalibrierwert einer Plausibilitätsprüfung zu unterziehen, um sicherzustellen, dass der gewünschte zur Kalibrierung erforderliche Betriebszustand des Kältekreises während der Kalibrierung auch erreicht wurde. Dieses Verfahren wurde bereits im zuvor beschriebenen Kalibrierablauf erläutert.

[0071] Die Mechanismen zur Fehlerbetrachtung und Korrektur der Prozesswerte oder daraus abgeleiteter Größen kann analog zum im zuvor beschriebenen Kalibrierablauf erfolgen. Nach erfolgter Kalibrierung erfolgt eine Rückschaltung des Reglers in die Betriebsart Regeln.

[0072] Zuvor kann es erforderlich sein, dass der Kältekreisarbeitspunkt so konditioniert wird, dass ein regelungstechnisch und kältetechnisch optimierter Einstieg in die Betriebsart Regeln erfolgen kann. Beispielsweise wird während der hier beschriebenen Kalibrierung der Wert der Überhitzung auf Null gezwungen, dies ist für die Betriebsart Regeln ein ungünstiger Startwert, da hier der Wert der Überhitzung von größer Null eingeregelt werden soll. Auch ist der Verdampfer mit mehr Kältemittel gefüllt, als verdampft werden kann, dies ist kein günstiger Arbeitspunkt für den Verdichter.

[0073] Zur schnellen Arbeitspunktanpassung von Betriebsart Kalibrieren an die Betriebsart Regeln kann folgendes Verfahren eingesetzt werden: Nach Beenden der Betriebsart Kalibrieren wird der Öffnungsgrad des Expansionsventils zunächst gleich Null gestellt, während dieser Zeit strömt kein weiteres Kältemittel in den Verdampfer und der Verdichter saugt das Kältemittel aus dem Verdampfer. Nun wird die Überhitzung des Kältemittels am Verdampferausgang rasch ansteigen. Hat der Istwert der Überhitzung den Sollwert im Regelbetrieb erreicht, kann umgeschaltet werden auf Regelbetrieb, der Regler für den Öffnungsgrad des Expansionsventils wird freigegeben, die Regelabweichung ist in diesem Moment nahe Null, eine sehr günstige Konstellation um das Regeln zu beginnen.

[0074] Eine weitere Besonderheit kann im Regler vorteilhaft implementiert werden:

Beim Umschalten vom Regeln ins Kalibrieren wird diejenige Größe im Regler gespeichert, die das aktuelle Reglerausgangssignal repräsentiert, dies kann z.B. der Integralanteil oder das Stellsignal für den Expansionsventilöffnungsgrad sein. Während der Kalibrierung ist der Regler passiv geschaltet, aber nach der Kalibrierung kann diejenige Größe im Regler, die das aktuelle Reglerausgangssignal vor Eintritt in das Kalibrieren repräsentierte, verwendet werden, um den Arbeitspunkt des Reglers wieder einzustellen, in der Annahme, dass sich der Arbeitspunkt des Kältekreises in der Zeit des Kalibrierens nicht stark verändert hat.

[0075] Zur Möglichkeit der Kalibrierung der Aktorik sei auch ein Beispiel genannt:

In bestimmten Betriebsarten ist es erforderlich, die Funktion der Aktorik zumindest in einigen Arbeitspunkten zu prüfen. So ist es erforderlich, dass in der Betriebsart Stand-by (Verdichter AUS) das Expansionsventil mit dem Öffnungsgrad Null Prozent angesteuert wird und somit dicht schließt, um eine Verlagerung des Kältemittels vom Verflüssiger zum Verdampfer zu verhindern. Eine Kalibrierroutine würde die Dichtigkeit des Ventils wie folgt prüfen:

Beim Übergang vom Betriebszustand "Verdichter ein" zu "Verdichter aus" in der Betriebsart Regeln wird die Kali-

brierung ausgelöst. Das Expansionsventil wird dann mit Öffnungsgrad gleich Null Prozent angesteuert. Nach einer festgelegten Wartezeit zum vollständigen Schließen des Expansionsventils wird eine erste Differenz zwischen den Werten von Verdampferdrucksensor 2 und Verflüssigerdrucksensor 4 gebildet. Vorteilhaft kann es auch sein, diese Wartezeit über die o. g. Zeit hinaus zu verlängern, so dass thermische Einschwingvorgänge im Kältekreis abgeschlossen oder nahezu abgeschlossen sind. Nach Verstreichen einer weiteren festgelegten Wartezeit wird eine zweite Differenz zwischen den Werten von Verdampferdrucksensor 2 und Verflüssigerdrucksensor 4 gebildet.

[0076] Die Abweichung der ersten Differenz von der zweiten Differenz wird als Kalibrierwert ermittelt und ist Maß für die Dichtigkeit des Expansionsventils, zumindest, wenn man den Verdichter im Ruhezustand als dicht annimmt. Diese Kalibrierung kann auch zyklisch in der Betriebsart Stand-by längere Zeit nach Verdichterausschalten wiederholt werden.

[0077] Zur Möglichkeit der Kalibrierung des Reglers sei auch ein Beispiel genannt:

Für die Betriebsart Regeln ist es nützlich, zyklisch die ordnungsgemäße Funktion des Reglers in festgelegten Arbeitspunkten zu prüfen.

[0078] Eine Kalibrieroutine könnte die Funktion des Reglers wie folgt prüfen:

Voraussetzung für den Start der Kalibrierung ist der Betriebszustand Regeln in einem eingeschwungenen Reglerzustand, die Regelabweichung muss dazu während einer festgelegten Zeitspanne in einem festgelegten Bereich befindlich sein. Mit dem Start der Kalibrierung wird dann der Sollwert für die Überhitzung des Reglers um einen festgelegten Faktor oder um einen festgelegten Betrag ausgehend vom normalen Reglersollwert verändert. Dabei kann der Überhitzungssollwert vergrößert oder verringert werden. Während der Kalibrierung regelt der Regler nun diesen Sollwertsprung aus, und der Istwertverlauf der Überhitzung wird relativ zum Sollwertverlauf der Überhitzung bewertet und daraus der Kalibrierwert gewonnen. Der Kalibrierwert kann aus der integralen Abweichung von Ist- und Sollwert während der Kalibrierung, aus der Abweichung von Ist- und Sollwert nach einer festgelegten Zeit oder anderen Verrechnungen zwischen Ist- und Sollwert errechnet werden. Auch die Größe des Sollwertsprunges und die Reglerparameter können relativ in die Berechnung des Kalibrierwertes Einfluss nehmen. Der Kalibrierwert trifft so eine Aussage über die Regelgüte und kann zur Fehlererkennung und Regleradaption verwendet werden.

[0079] Für die verschiedenen Arten der Kalibrierung ergeben sich weitere vorteilhafte Ausgestaltungen zur Bewertung und Verarbeitung der Kalibrierwerte:

Es kann vorteilhaft sein, nicht nur den letzten Kalibrierwert für die Fehlerbewertung und Prozesswertkorrektur zu verwenden, sondern eine bestimmte Zahl gespeicherter Kalibrierwerte. Der Speicher kann als FIFO organisiert sein, sodass immer eine festgelegte Anzahl letzter Kalibrierwerte gespeichert werden kann. Die Fehlerbewertung kann sich dann auf eine Anzahl von letzten Kalibrierwerten beziehen, von welchen dann beispielsweise das arithmetische Mittel gebildet wird und dieses zur Fehlerbewertung und Prozesswertkorrektur verwendet wird.

[0080] Wird in diese Liste zugehörig zu den Kalibrierwerten auch Datum, Zeit und Arbeitspunkt eingetragen, erleichtert ein Auslesen der Prozesswerte dem Servicetechniker die Fehlerdiagnose.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kalibrieren einer Kälteanlage, insbesondere einer Kompressionskälteanlage, mit einem Kältemittel, einem Verdampfer (31), einem Verdichter (32), einem Verflüssiger (33), einem elektronisch ansteuerbaren Drosselorgan (13) und einem Regler (40) zum Steuern des elektronisch ansteuerbaren Drosselorgans (13), mit den Schritten:

Umschalten von einer normalen Betriebsart in eine Kalibrier-Betriebsart,
Anfahren eines speziellen Betriebszustandes, in welchem sich eine bekannte physikalische Abhängigkeit zwischen Prozesswerten des Kältekreises zumindest annähernd einstellt,
Erfassen der jeweiligen Prozesswerte, wenn der spezielle Betriebszustand angefahren worden ist,
Bilden von Kalibrierwerten zum Beschreiben eines Fehlereinflusses auf Teile der Kälteanlage basierend auf den erfassten Prozesswerten,
Bilden mindestens eines Korrekturwertes basierend auf den Kalibrierwerten, und
Rückkehren zu der normalen Betriebsart.

2. Verfahren nach Anspruch 1, mit den Schritten:

Kalibrieren eines Drucksensors (2) zum Messen des Verdampferausgangsdruckes und eines Drucksensors (4) zum Messen des Verflüssigerdruckes,
wobei der Verdichter abgeschaltet und das Drosselorgan 13 geöffnet wird,
wobei ein Kalibrierwert der Differenz zwischen dem Hochdruck und dem Niederdruck im eingeschwungenen Zustand entspricht, und
wobei ein Korrekturwert basierend auf dem Kalibrierwert gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, mit den Schritten:

Kalibrieren des Drucksensors des Verdampferausgangs und des Sensors für die Verdampfertemperatur (1),
wobei die Kalibrierbetriebsart aktiviert wird, wenn die Betriebsart der Kälteanlage von einer Betriebsart, bei der der Verdichter eingeschaltet ist, auf eine Betriebsart umgeschaltet wird, bei der der Verdichter ausgeschaltet ist,
wobei der Regler (40) das Expansionsventil (13) derart regelt, dass sich das Kältemittel im Verdampfer im Nassdampfbereich befindet,
Messen des Verdampferausgangsdruckes und der Verdampfertemperatur, und
Vergleichen dieser Werte mit den zugrundeliegenden physikalischen Abhängigkeiten.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Kalibrierbetriebsart aktiviert wird, wenn die Betriebsart aktiviert ist, bei der der Verdichter eingeschaltet ist, wobei der Regler (40) das Expansionsventil (13) derart regelt, dass sich das Kältemittel im Verdampfer vollständig oder nahezu vollständig im Nassdampfbereich befindet, Erfassen des Verdampferausgangsdruckes und der Verdampfertemperatur, und Bestimmen des Minimums des Wertes der Überhitzung basierend auf dem Verdampferausgangsdruck und der Verdampfertemperatur, wobei der Kalibrierwert dem Minimum des Wertes der Überhitzung entspricht.

5. Kälteanlage, insbesondere Kompressionskälteanlage, mit einem Kältemittel, einem Verdampfer (31), einem Verdichter (32), einem Verflüssiger (33), einem elektronisch ansteuerbaren Drosselorgan (13) und einem Regler (40) zum Steuern des elektronisch ansteuerbaren Drosselorgans (13), einer Kalibrierungsauslöseeinheit (18) zum Auslösen einer Kalibrierung, einer Anlaufsteuereinheit (19) zum Anfahren eines speziellen Betriebszustandes der Kälteanlage, bei welchem sich eine bekannte physikalische Abhängigkeit zwischen Prozesswerten des Kältekreislaufes zumindest annähernd einstellt, wobei die jeweiligen Prozesswerte erfasst werden, wenn der spezielle Betriebszustand mittels der Anlaufsteuereinheit (19) angefahren worden ist, einer Recheneinheit (21) zum Bilden von Kalibriergrößen zur Beschreibung eines Fehlereinflusses auf Teile der Kälteanlage, und einer Korrektureinheit (22) zum Bilden mindestens eines Korrekturwertes basierend auf den ermittelten Kalibrierwerten.

Fig. 1

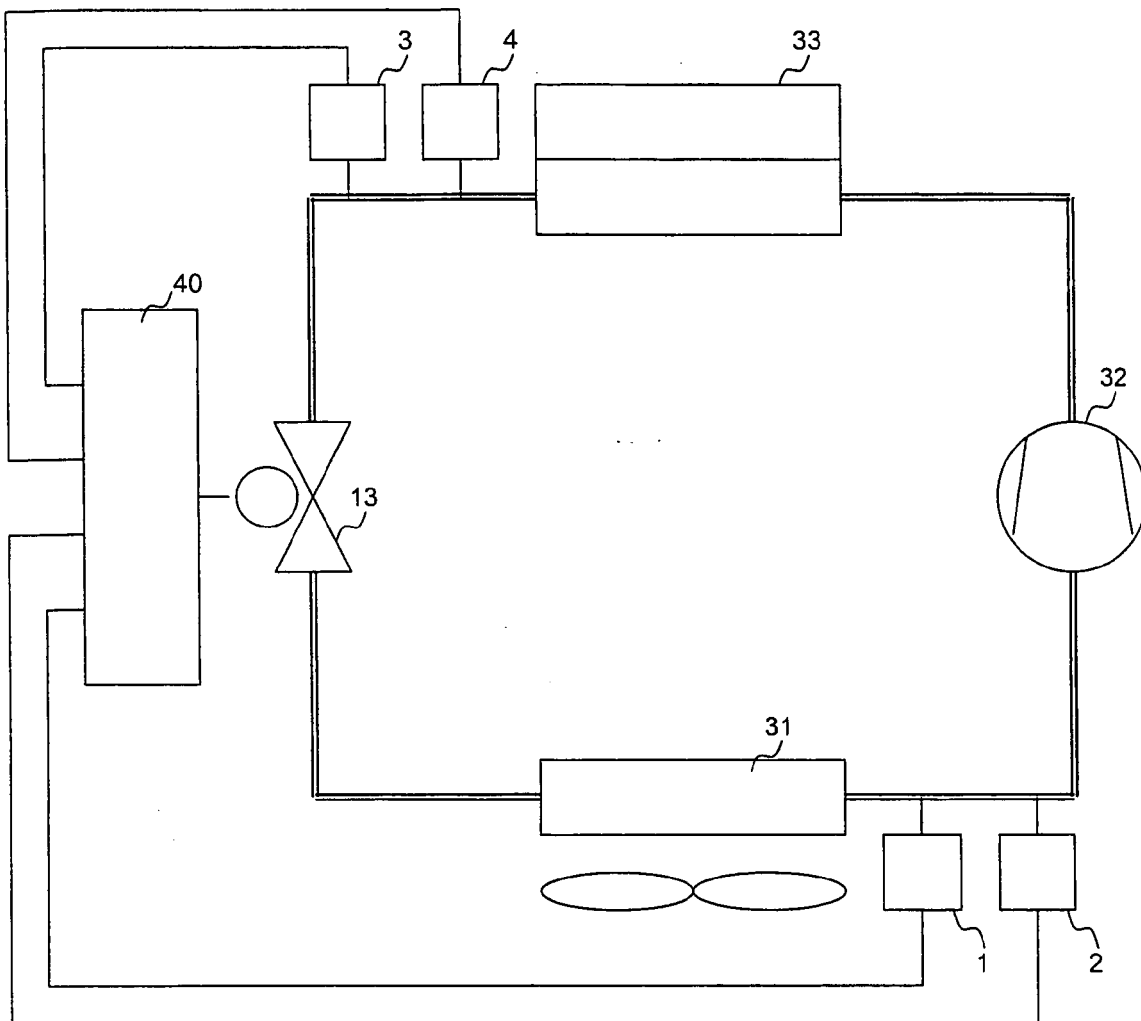
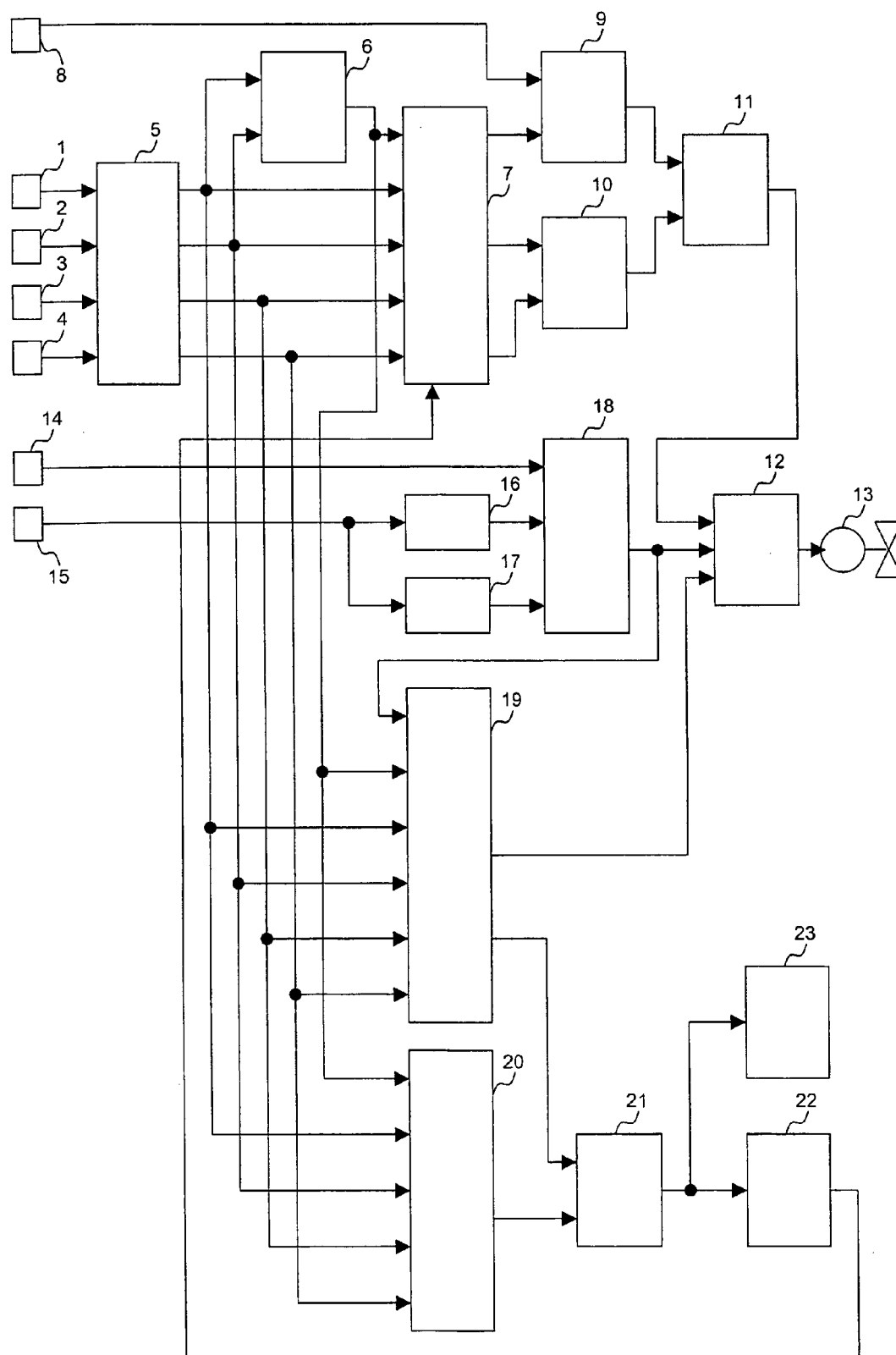


Fig. 2



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1355207 A1 [0004]
- DE 4303533 A1 [0004]