



(11) **EP 1 644 640 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
21.03.2007 Patentblatt 2007/12

(51) Int Cl.:
F04B 49/06 ^(2006.01) **F04B 49/10** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **04726849.5**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2004/003840

(22) Anmeldetag: **10.04.2004**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2005/003561 (13.01.2005 Gazette 2005/02)

(54) **VERFAHREN ZUR STEUERUNG DES BETRIEBS EINES KOMPRESSORS**

METHOD FOR CONTROLLING OPERATION OF A COMPRESSOR

PROCEDE PERMETTANT DE COMMANDER LE FONCTIONNEMENT D'UN COMPRESSEUR

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**

(30) Priorität: **04.07.2003 DE 10330121**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
12.04.2006 Patentblatt 2006/15

(73) Patentinhaber: **Continental Aktiengesellschaft
30165 Hannover (DE)**

(72) Erfinder: **SORGE, Kai
53757 St.-Augustin (DE)**

(74) Vertreter: **Finger, Karsten
Continental Aktiengesellschaft
Patente und Lizenzen
Postfach 169
30001 Hannover (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**DE-A- 3 919 407 DE-A- 4 030 475
DE-A- 4 333 591 DE-C- 19 621 946
US-A- 4 462 610**

EP 1 644 640 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Es ist allgemein bekannt, dass in Kraftfahrzeugen Kompressoren Verwendung finden, mit denen ein gasförmiges oder flüssiges Medium auf einen Druck bringbar ist, der über dem Umgebungsdruck liegt. Dieses gasförmige oder flüssige Medium wird häufig als Steuerdruckmedium genutzt, mit dem beispielsweise Aktuatoren wie Kolben-

[0002] Ein Anwendungsfall in Kraftfahrzeugen ergibt sich aus der Notwendigkeit, die Luftfedern einer Niveauregulierungsanlage derart mit Druckluft zu versorgen, dass diese das Fahrzeug in einen fahrsituationsgerechten Abstand zur Fahrbahnoberfläche bewegen können. Da eine solche Niveauregulierungsanlage nicht ständig für eine Höhenverstellung des Fahrzeugs sorgt, wird ein zu einer solchen Anlage gehörender Kompressor bedarfsgerecht immer nur dann in Betrieb genommen, wenn die Notwendigkeit dazu besteht. Derartige Kompressoren sind in der Regel als elektromotorische betriebene Kolbenkompressoren ausgebildet.

[0003] Im Bestreben die Kosten für Kompressoren zu minimieren, werden verstärkt kleine Kompressoren eingesetzt, bei dessen gegebenenfalls länger dauernden Betrieb thermische Probleme auftreten können, da sich dessen Bauteile bei längerem Betrieb unzulässig hoch erwärmen können. Die Schädigung erfolgt in solchen Fällen in der Regel zuerst an dem Auslassventil oder an der Kolbendichtung eines Kolbenkompressors, was letztlich zu einem Ausfall des Kompressors und damit der Niveauregulierungsanlage führen kann.

[0004] Zur Vermeidung derartiger betriebsbedingter Schäden besteht beispielsweise gemäß der DE 15 03 466 A1, der DE 19 43 936 A1 und der EP 12 53 321 A2 die Möglichkeit, die Temperatur des Kompressors im Bereich der genannten Bauteile direkt zu messen und bei einer thermischen Überbelastung den Kompressor zur Abkühlung abzuschalten.

Dieser Aufbau ist aber mit den Nachteilen verbunden, dass die dazu notwendigen Temperatursensoren vergleichsweise teuer und bei kleinen Kompressoren aufgrund des beengten Bauraums im interessierenden Bereich oft nur schwer unterzubringen sind. Zwar deutet die EP 12 53 321 A2 an, dass die Steuerung des Kompressorbetriebs auch ohne Temperatursensoren auf der Basis eines thermischen Modells erfolgen kann, der Inhalt eines solchen Mess- beziehungsweise Steuerungsverfahrens wird aber nicht definiert.

[0005] Darüber hinaus ist es aus der DE 39 19 407 A1 und der DE 40 30 475 A1 bekannt, die thermische Belastung eines solchen Kompressors über die elektrische Leistungsaufnahme und/oder die Betriebsdauer des zu dem Kompressor gehörenden Elektromotors zu ermitteln. In eine ähnlich Richtung geht der durch die DE 43 33 591 A1 bekannt gewordene Vorschlag, die Steuerung eines Kompressors durch Aufsummieren dessen Einzeleinschaltzeiten und Einzelabschaltzeiten zu beeinflussen, die als eine Größe von vielen Einflussfaktoren für die thermische Belastung des Kompressors gelten kann.

[0006] Ein anderer Ansatz wird durch die DE 198 12 234 C2 offenbart, nach der ein Kompressor hinsichtlich seiner Ein- und Ausschaltzeiten variabel betrieben wird. Dabei soll die jeweils aktuelle Einschaltdauer an die aktuellen Betriebsbedingungen des Kompressors angepasst werden. Als Parameter, in dessen Abhängigkeit die Einschaltdauer des Kompressors variiert wird, dienen die Wärmeübertragungsbedingungen, die zwischen dem Kompressor und der diesem umgebenden Luft herrschen.

[0007] Dabei kann die Einschaltdauer beispielsweise in Abhängigkeit von der in der Kompressorumgebung herrschenden Lufttemperatur und Luftströmungsgeschwindigkeit derart variiert werden, dass die Einschaltdauer verkürzt wird, wenn die Kompressorumgebungstemperatur zunimmt und verlängert wird, wenn diese abnimmt. Die Kompressorumgebungstemperatur kann dabei anhand einer Modellrechnung aus der aktuellen Fahrzeugaußenlufttemperatur und/oder der Fahrzeugmotoransauglufttemperatur bestimmt werden. Nachteilig an diesem Verfahren ist, dass dieses wie alle Einschaltdauermethoden durchweg ungenau ist, weil dieses die thermodynamischen Eigenschaften des Kompressors selbst nicht berücksichtigt. Die Steuerung nimmt daher beispielsweise keinen Einfluss darauf, in welchem Temperaturband der Kompressor letztlich betrieben wird.

[0008] Schließlich offenbart die DE 196 21 946 C2 ein Verfahren zur temperaturgestützten Steuerung eines Kompressors für eine Luftfederung eines Kraftfahrzeuges, welches als Schätzverfahren ausgebildet ist und ohne einen gesonderten Temperatursensor am Kompressor auskommt. Dazu ist vorgesehen, dass der Kompressor von einem Steuergerät abgeschaltet wird, wenn ein von diesem berechneter Temperatur-Schätzwert einen oberen Schwellwert überschreitet, oder eingeschaltet wird beziehungsweise ein Einschalten gestattet wird, wenn ein unterer Schwellwert unterschritten wird. Dazu wird der jeweils letzte Temperatur-Schätzwert beim Einschalten des Kompressors um einen bestimmten Temperatursprung erhöht, dessen Maß von der Höhe des letzten Schätzwertes abhängig ist.

[0009] Dabei wird der Schätzwert während eines Kompressorbetriebes um einen vorgegebenen positiven Gradienten erhöht und bei Stillstand des Kompressors um einen vorgegebenen negativen Gradienten abgesenkt. Nachteilig ist, dass die für dieses Verfahren zugrunde gelegten linearen Zusammenhänge so in der Realität nicht vorliegen, da bei großen Temperaturdifferenzen die Temperaturänderungen größer sind als bei kleinen Temperaturdifferenzen. Der Temperatursprung findet außerdem in der Realität nicht augenblicklich statt, so dass in diesem Bereich auch die steuerungstechnische Verfügbarkeit des Kompressors nachteilig herabgesetzt ist.

[0010] Vor diesem Hintergrund besteht die Aufgabe an die Erfindung, ein Verfahren vorzustellen, mit dem die aktuelle Temperatur an einem schädigungsgefährdeten Bauteil eines Kompressors ohne Nutzung eines in den Kompressor eingebauten Temperatursensors genauer als bisher abschätzbar ist, so dass ein solcher Kompressor bei ansteigenden Bauteiltemperaturen länger als bisher möglich betreibbar ist.

[0011] Die Lösung dieser Aufgabe ergibt sich aus den Merkmalen des Hauptanspruchs, während vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Verfahrens den Unteransprüchen entnehmbar sind.

[0012] Der Erfindung liegt demnach die Erkenntnis zugrunde, dass sich die Betriebsdauer und die Verfügbarkeit eines Kompressors auch ohne Nutzung eines im Bereich der thermisch stark belasteten Bauteile angeordneten Temperatursensors dadurch vorteilhaft verlängern lassen, wenn das Erwärmungs- und Abkühlverhalten des Kompressors besser als bisher schätzbar ist. Die Erfindung schlägt dazu in Weiterentwicklung des Standes der Technik vor, die Abkühl- und Erwärmungseigenschaften des Kompressors in Form von mathematisch-physikalischen Modellen zu bestimmen, in einem Steuergerät abzuspeichern und auf deren Grundlage den Betrieb des Kompressors zu steuern.

[0013] Dabei ist nach den Merkmalen des Anspruchs 1 insbesondere vorgesehen, dass physikalisch-technische Einflussgrößen ermittelt werden, welche die Schätztemperatur $T_s(T_c)$ verändernd beeinflussen, dass wenigstens eine Relativtemperatur T_{c1} ; T_{c2} mit Hilfe der Einflussgrößen ermittelt wird, die den thermischen Zustand des Kompressors beschreibt, dass dazu zu dem zyklisch vorherigen Wert der Relativtemperatur T_{c1} ; T_{c2} die aktuellen Einflussgrößen hinzuaddiert und/oder subtrahiert werden, so dass sich als Ergebnis dieser Berechnung eine aktuelle Relativtemperatur T_{c1} ; T_{c2} ergibt, dass dann aus dieser aktuellen Relativtemperatur T_{c1} ; T_{c2} und der Umgebungstemperatur T_∞ des Kompressors eine aktuelle Schätztemperatur $T_s(T_c)$ ermittelt wird, die das Erwärmungs- und Abkühlverhalten des Kompressors berücksichtigt, und dass diese zyklisch ermittelte Schätztemperatur $T_s(T_c)$ zur Durchführung eines Grenzwertvergleichs mit einem unteren und einem oberen Temperaturschwellwert T_{min} ; T_{max} genutzt wird, auf dessen Grundlage der Kompressorbetrieb gesteuert wird.

[0014] Zu den Einflussgrößen, welche die charakteristischen Relativtemperaturen T_{ci} temperaturerhöhend kennzeichnen und bei der Durchführung des Schätzverfahrens berücksichtigt werden, gehört beispielsweise neben der Umgebungstemperatur T_∞ des Kompressors auch die elektrische Spannung U_{komp} am Kompressor sowie der Gegendruck P des Kompressionsmedium stromab des Kompressors. Bei einem geschlossenen Drucksystem kann auch der Druck vor dem Kompressor genutzt werden.

[0015] Diese temperaturerhöhenden Einflussgrößen gehen in einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung in eine Erwärmungsfunktion $B(U)$ ein, die das Erwärmungsverhalten eines spezifischen Kompressors beschreibt.

[0016] Demgegenüber wird bei dem in Rede stehendem Verfahren sinnvollerweise auch eine temperaturreduzierende Einflussgröße $A(T_c)$ in Form einer Abkühlfunktion genutzt, die die Abkühleigenschaften des Kompressors sowie seiner Einbauumgebung berücksichtigt.

[0017] Zur Durchführung der Berechnung eines aktuellen Wertes der Relativtemperaturen $T_{c1,i}$; $T_{c1,i}$ wird vorgeschlagen, dass von den letzten vorgegebenen oder berechneten Werten der Relativtemperaturen $T_{c1,i-1}$; $T_{c2,i-1}$ der aktuelle Wert der Abkühlfunktion $A(T_c)$ abgezogen wird, wenn der Kompressor im betrachteten Zeitintervall nicht im Betrieb ist, sowie der aktuelle Wert der Erwärmungsfunktion $B(U)$ hinzugezählt wird, wenn der Kompressor im betrachteten Zeitintervall im Betrieb ist. Als besonders vorteilhaft wird jedoch eingeschätzt, die Abkühlfunktion $A(T_c)$ auch während des Kompressorbetriebs bei der Berechnung der Relativtemperatur zu berücksichtigen, da der Kompressor selbstverständlich auch in dieser Betriebsart Wärme an seine Umgebung abgibt.

[0018] Beim Start des Steuerungsverfahrens sollte der Anfangswert der Relativtemperaturen T_c so ausgewählt sein, dass die Schätztemperatur $T_s(T_c)$ des Kompressors dem Wert der Umgebungstemperatur T_∞ am Einbauort des Kompressors entspricht.

[0019] Da die Relativtemperatur $T_s(T_c)$ nicht die absolute Temperatur des Kompressors sondern den Temperaturunterschied gegenüber der Temperatur T_∞ am Kompressoreinbauort beschreibt, kann diese Relativtemperatur $T_s(T_c)$ zu Beginn des Kompressor-Steuerungsverfahrens nach längerer Stillstandzeit des Kompressors mit dem Wert Null initialisiert werden. Durch diese Vorgehensweise wird sichergestellt, dass das erfindungsgemäße Temperaturschätzverfahren nach einer längeren Abkühlzeit genau die Umgebungstemperatur T_∞ liefert.

[0020] Die grobe Struktur des erfindungsgemäßen Steuerungsverfahrens, wie es beispielsweise in einem Kraftfahrzeugsteuerungsgerät als Software abgelegt ist, lässt sich mit Hilfe der beigefügten Zeichnung erläutern. Darin ist ein Relativtemperaturmodul 2 dargestellt, in dem diejenige charakteristische Relativtemperatur T_c abgespeichert und berechnet wird, die den thermischen Zustand des Kompressors hinreichend genau beschreibt. In kurzen Zeitabständen wird zyklisch, beispielsweise gesteuert von einem Taktgeber, diese Relativtemperatur T_c , vorzugsweise zwei Relativtemperaturen T_{c1} ; T_{c2} , neu berechnet.

[0021] Dazu wird zunächst in einem Abkühlsoftwaremodul 4 mittels der dort abgespeicherten Abkühlfunktion $A(T_c)$ und der vom Halteglied 3 zur Verfügung gestellten Relativtemperatur T_c des letzten Zeitabschnittes derjenige Kompressorabkühlungswert berechnet, um den sich der Kompressor seit dem letzten Berechnungszyklus aufgrund der Eigenarten des Kompressors sowie seiner Einbauumgebung abgekühlt hat. Dieser Abkühlwert wird dann anschließend von der bisherigen Relativtemperatur T_c abgezogen (Minuszeichen), so dass ein neuer Wert für die Relativtemperatur T_c gebildet

ist.

[0022] Insbesondere wenn der Kompressor in Betrieb ist, verursacht dieser eine Abwärme, die über erwärmungsspezifische Einflussgrößen 7 als diesbezügliche Messwerte von dem Steuerungsgerät erfasst werden und in einem sogenannten Erwärmungsmodul (Arbeitsspeicher 5 im Steuergerät) mit Hilfe einer dort abgespeicherten Erwärmungsfunktion $B(U)$ zu einem Erwärmungswert umgewandelt werden, der im Sinne eines physikalischen Modells all diejenigen Einflussfaktoren berücksichtigt, die temperaturerhöhend auf den Kompressor wirken.

[0023] Der so zyklisch neu berechnete Wert der Erwärmungsfunktion $B(U)$ wird insbesondere, jedoch nicht ausschließlich, bei eingeschaltetem Kompressor zu der aktuellen Relativtemperatur T_c hinzuaddiert (Schalter 6 mit Pluszeichen), so dass sich eine neue Relativtemperatur T_c ergibt, die sowohl alle Abkühlungs- als auch alle gegebenenfalls zu berücksichtigenden Erwärmungseinflussfaktoren berücksichtigt.

[0024] Aus diesem aktuellen Wert für die Relativtemperatur T_c kann dann in einem Schätztemperaturmodul 1 die zyklisch aktuelle Schätztemperatur $T_s(T_c)$ bestimmt werden, die für die weitere Betriebssteuerung (An- oder Ausschalten in Abhängigkeit vom Kompressionsbedarf und der Betriebstemperatur) des Kompressors genutzt wird.

[0025] Übersteigt die Schätztemperatur den zulässigen oberen Temperaturgrenzwert, so muss der Kompressor ausgeschaltet werden. Er wird jedoch eingeschaltet, wenn Kompressionsbedarf besteht und die Schätztemperatur unter einen unteren Temperaturgrenzwert fällt, oder wenn erwartet werden kann, dass die Abkühlung hinreichend groß ist, um ohne Überhitzung eine angeforderte Stellaufgabe (z.B. eine Fahrzeugniveauveränderung) vollständig durchführen zu können.

[0026] Nachfolgend wird in einem Ausführungsbeispiel zu der Erfindung die Steuerungsschrittfolge eines konkreten Steuerungsverfahrens vorgestellt, welches dem Erfindungsgedanken folgt sowie einige der vorteilhaften Weiterbildungen der Erfindung beinhaltet. Dieses Verfahren ist durch folgende Verfahrensschritte gekennzeichnet:

- a) Feststellen des Betriebszustandes des Kompressors (An oder Aus),
- b) Messen des Gegendruckes P des Druckmediums stromab hinter dem Kompressor und/oder bei geschlossenen Systemen des Vordrucks vor dem Kompressor,
- c) Messen der aktuellen Betriebsspannung U_{Komp} des Kompressors,
- d) Messen oder Schätzen der Umgebungstemperatur T_{∞} des Kompressors,
- e) Ermitteln der Gültigkeit der Einflussgrößen Betriebsspannung U_{Komp} und Gegendruck P beziehungsweise des Kompressor-Eingangsdrucks (Vordruck),
- f) Berechnen des aktuellen Wertes der Erwärmungsfunktion $B(U)$ unter Nutzung von erwärmungsspezifischen Einflussgrößen U ,
- g) Berechnen des aktuellen Wertes der Abkühlfunktion $A(T_c)$ unter Nutzung von den charakteristischen Temperaturen des letzten Zeittakts,
- h) Berechnen der charakteristischen Relativtemperaturen T_{c1} ; T_{c2} durch Addition und/oder Subtraktion der aktuellen Werte der Erwärmungsfunktion $B(U)$ und der Abkühlfunktion $A(T_c)$,
- i) Berechnen der Schätztemperatur $T_s(T_c)$ als Funktion der charakteristischen Relativtemperaturen T_{c1} ; T_{c2} , und der Umgebungstemperatur T_{∞} ,
- j) Vergleich der Schätztemperatur $T_s(T_c)$ mit vorbestimmten Temperaturschwellwerten $T_{\min}$ und $T_{\max}$, wobei $T_{\min}$ kleiner ist als $T_{\max}$,
- k) Startfreigabe, wenn die Schätztemperatur $T_s(T_c)$ kleiner oder gleich als $T_{\min}$ ist, oder Erlaubnis zum Weiterbetrieb für den Kompressor, wenn die Schätztemperatur $T_s(T_c)$ kleiner als der Temperaturwert $T_{\max}$ ist,
- l) Ausschalten des Kompressors, wenn die Schätztemperatur $T_s(T_c)$ größer oder gleich dem Temperaturwert $T_{\max}$ ist,
- m) Abspeichern der charakteristischen Relativtemperaturen T_{c1} ; T_{c2} zur Nutzung im nächsten Berechnungslauf,
- n) Warten bis zum nächsten Zeittakt, und
- o) Starten des nächsten Berechnungslaufs (Schritt a).

[0027] In weiterer Ausgestaltung dieses Verfahrens kann zudem vorgesehen sein, dass beispielsweise die Gültigkeit der Einflussgrößen Betriebsspannung U_{Komp} und Gegendruck P und ggf. Vordruck dadurch ermittelt werden, dass diese Werte mit dem Wert "Eins" multipliziert werden, wenn der Kompressor in Betrieb ist, oder mit dem Wert "Null" multipliziert werden, wenn der Kompressor nicht im Betrieb ist. Durch diese Multiplikation wird erreicht, dass diese Einflussgrößen eine Kompressorwärmerhöhung kennzeichnenden Größen nur dann in die Berechnung der Schätztemperatur $T_s(T_c)$ eingehen, wenn der Kompressor auch tatsächlich aktiviert ist.

[0028] Die Relativtemperatur T_{c1} ; T_{c2} und die Schätztemperatur $T_s(T_c)$ für einen Zeitschritt i sind dabei nach den folgenden Gleichungen zu berechnen:

[0029] Bei ausgeschaltetem Kompressor

$$T_{Ci} = T_{Ci-1} - A T_{Ci-1} \quad (\text{Gl. 1})$$

5 und bei eingeschaltetem Kompressor

$$T_{Ci} = T_{Ci-1} - A T_{Ci-1} + B U_i \quad (\text{Gl. 2})$$

10 sowie für die Schätztemperatur

$$T_{Si} = C T_{Ci} + T_{\infty} \quad (\text{Gl. 3})$$

20 worin die Werte A bis C Matrizen mit konstanten Koeffizienten darstellen, die den Kompressor sowie die Kompressor-
umgebung, insbesondere hinsichtlich deren thermischen Eigenschaften kennzeichnen, sowie T_{∞} wie bereits erwähnt
die Umgebungstemperatur des Kompressors angibt.

[0030] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Steuerungsverfahrens wird vorgeschlagen,
dass auch wenn die Schätztemperatur $T_s(T_c)$ größer als der Temperaturwert $T_{\min}$ ist, der Kompressor eingeschaltet
werden kann, wenn die bis zum Erreichen des oberen Schwellwertes $T_{\max}$ dauernde Betriebszeit des Kompressors
ausreichend ist, um eine Druckmittelmenge zu fördern, die zur Befüllung eines Druckluftspeichers auf ein bestimmtes
25 Druckniveau und/oder zur Befüllung von Luftfedern eines Kraftfahrzeuges um einen bestimmten Befüllwert ausreicht.

[0031] Zudem sei erwähnt, dass dann, wenn die Funktionen $A(T_c)$, $B(U)$ und $T_s(T_c)$ linearen Charakter haben, deren
Parameter einfach durch numerische Verfahren direkt aus Sensormesswerten ermittelt und/oder identifiziert werden
können. Außerdem soll nicht unerwähnt bleiben, dass durchgeführte Modellrechnungen sehr gute Ergebnisse zeigten,
wenn mit zwei charakteristischen Modelltemperaturen beziehungsweise Relativtemperatur T_{c1} , T_{c2} gerechnet wurde.

30 [0032] Als besondere Vorteile dieses Steuerungsverfahrens gelten, dass kein gesonderter Temperaturfühler am oder
im Kompressor notwendig ist, dass die thermodynamischen Eigenschaften eines Kompressors durch das Schätzver-
fahren sehr gut berücksichtigt werden, dass die notwendigen Berechnungsfaktoren mit vorhanden numerischen Verfahren
aus Messungen sehr gut bestimmt werden können, dass das Steuerungsverfahren sehr gut in vorhandene Kraftfahr-
zeugsteuerungsgeräte einfügbar ist und dass gegenüber Zeiteinschaltdauerverfahren gemäß dem Stand der Technik
35 stets genauere Schädigungstemperaturen berechenbar sind und dadurch eine höher Verfügbarkeit des Kompressors
erzielbar ist.

Bezugszeichenliste

40 [0033]

1	Schätztemperaturmodul
2	Relativtemperaturmodul
3	Halteglied
45 4	Abkühlmodul
5	Erwärmungsmodul
6	Schalter
7	Erwärmungsspezifische Einflussgrößen
A	Matrize mit konstanten Koeffizienten
50 B	Matrize mit konstanten Koeffizienten
C	Matrize mit konstanten Koeffizienten
T_c	Charakteristische Relativtemperatur, die den thermischen Zustand des Kompressors hinreichend genau be- schreibt
$A(T_c)$	Abkühlfunktion
55 $B(U)$	Erwärmungsfunktion
U	Einflussgrößen, die die Relativtemperatur T_c temperaturerhöhend beeinflussen
U_{Komp}	Kompressorspannung
P	Gegendruck des Druckmediums

$T_s(T_c)$	Schätztemperatur
$T_{\max}$	Oberer Temperatur-Schwellwert
$T_{\min}$	Unterer Temperatur-Schwellwert
T_{∞}	Umgebungstemperatur am Kompressor
i	Index

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung des Betriebs eines Kompressors, bei dem der Kompressor von einem Steuergerät zur Vermeidung von thermischen Schäden dann abgeschaltet wird, wenn ein von diesem berechneter Temperatur-Schätzwert $T_s(T_c)$ einen oberen Schwellwert $T_{\max}$ überschreitet, oder eingeschaltet bleibt oder eingeschaltet wird, wenn ein Kompressionsbedarf besteht, sowie wenn ein unterer Schwellwert $T_{\min}$ unterschritten wird, wobei der Temperatur-Schätzwert $T_s(T_c)$ des Kompressors indirekt und zyklisch mittels eines die Abkühl- und Erwärmungseigenschaften des Kompressors kennzeichnenden mathematisch-physikalischen Modells ermittelt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** physikalisch-technische Einflussgrößen ermittelt werden, die die Schätztemperatur $T_s(T_c)$ verändernd beeinflussen, dass wenigstens eine Relativtemperatur $T_{c1}; T_{c2}$ mit Hilfe der Einflussgrößen ermittelt wird, die den thermischen Zustand des Kompressors beschreibt, dass dazu zu dem zyklisch vorherigen Wert der Relativtemperatur $T_{c1}; T_{c2}$ die aktuellen Einflussgrößen hinzuaddiert und/oder subtrahiert werden, so dass sich als Ergebnis dieser Berechnung eine aktuelle Relativtemperatur $T_{c1}; T_{c2}$ ergibt, dass dann aus dieser aktuellen Relativtemperatur $T_{c1}; T_{c2}$ und der Umgebungstemperatur T_{∞} des Kompressors eine aktuelle Schätztemperatur $T_s(T_c)$ ermittelt wird, die das Erwärmungs- und Abkühlungsverhalten des Kompressors berücksichtigt, und dass diese zyklisch ermittelte Schätztemperatur $T_s(T_c)$ zur Durchführung eines Grenzwertvergleichs mit einem unteren und einem oberen Temperaturschwellwert $T_{\min}; T_{\max}$ genutzt wird, auf dessen Grundlage der Kompressorbetrieb gesteuert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zu den Einflussgrößen neben anderen Größen die elektrische Spannung U_{Komp} am Kompressor sowie der Gegendruck P des Kompressionsmediums stromab des Kompressors und/oder bei geschlossenen Systemen der Vordruck des Druckmediums am Eingang des Kompressors gehören.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** Einflussgrößen in eine Erwärmungsfunktion $B(U)$ einbezogen werden, die das Erwärmungsverhalten eines spezifischen Kompressors kennzeichnet.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Einflussgröße $A(T_c)$ eine Abkühlfunktion darstellt, die die Abkühleigenschaften eines spezifischen Kompressors sowie seiner Einbaumgebung berücksichtigt.
5. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Berechnung eines aktuellen Wertes der Relativtemperaturen $T_{c1,i}; T_{c1,i-1}$ von den letzten vorgegebenen oder berechneten Werten der Relativtemperaturen $T_{c1,i-1}; T_{c2,i-1}$ der Wert der Abkühlfunktion $A(T_c)$ abgezogen wird, wenn der Kompressor im betrachteten Zeitintervall nicht im Betrieb oder im Betrieb ist, und der Wert der Erwärmungsfunktion $B(U)$ hinzu-gezählt wird, wenn der Kompressor im betrachteten Zeitintervall im Betrieb ist.
6. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anfangswert der Relativtemperaturen T_c so ausgewählt ist, dass die Schätztemperatur $T_s(T_c)$ des Kompressors dem Wert der Umgebungstemperatur T_{∞} am Einbauort des Kompressors entspricht.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anfangswert der Relativtemperaturen T_c zu Beginn des Kompressor-Steuerungsverfahrens auf den Wert Null gesetzt wird.
8. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, **gekennzeichnet durch** folgende Verfahrensschritte:
 - a) Feststellen des Betriebszustandes des Kompressors (An oder Aus),
 - b) Messen des Gegendrucks P des Druckmediums stromab hinter dem Kompressor und/oder bei geschlossenen Systemen des Vordrucks vor dem Kompressor,
 - c) Messen der aktuellen Betriebsspannung U_{Komp} des Kompressors,
 - d) Messen oder Schätzen der Umgebungstemperatur T_{∞} des Kompressors,
 - e) Ermitteln der Gültigkeit der Einflussgrößen Betriebsspannung U_{Komp} und Gegendruck P beziehungsweise

des Kompressor-Eingangsdrucks (Vordruck),

f) Berechnen des aktuellen Wertes der Erwärmungsfunktion $B(U)$ unter Nutzung von erwärmungsspezifischen Einflussgrößen U ,

g) Berechnen des aktuellen Wertes der Abkühlfunktion $A(T_c)$ unter Nutzung von den charakteristischen Temperaturen des letzten Zeittakts,

h) Berechnen der charakteristischen Relativtemperaturen T_{c1} ; T_{c2} **durch** Addition und/oder Subtraktion der aktuellen Werte der Erwärmungsfunktion $B(U)$ und der Abkühlfunktion $A(T_c)$,

i) Berechnen der Schätztemperatur $T_s(T_c)$ als Funktion der charakteristischen Relativtemperaturen T_{c1} ; T_{c2} , und der Umgebungstemperatur T_∞ ,

j) Vergleich der Schätztemperatur $T_s(T_c)$ mit vorbestimmten Temperaturschwellwerten $T_{\min}$ und $T_{\max}$, wobei $T_{\min}$ kleiner ist als $T_{\max}$,

k) Startfreigabe für den Kompressor, wenn die Schätztemperatur $T_s(T_c)$ kleiner oder gleich dem Temperaturwert $T_{\min}$ ist, oder Erlaubnis zum Weiterbetrieb, wenn die Schätztemperatur $T_s(T_c)$ kleiner dem Temperaturwert $T_{\max}$ ist

l) Ausschalten des Kompressors, wenn die Schätztemperatur $T_s(T_c)$ größer oder gleich dem Temperaturwert $T_{\max}$ ist,

m) Abspeichern der charakteristischen Relativtemperaturen T_{c1} ; T_{c2} zur Nutzung im nächsten Berechnungslauf,

n) Warten auf den nächsten Zeitschritt, und

o) Starten des nächsten Berechnungslaufs (Schritt a).

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gültigkeit der Messgrößen Betriebsspannung U_{Komp} und Gegendruck P beziehungsweise Vordruck **dadurch** ermittelt werden, dass diese Werte mit dem Wert "Eins" multipliziert werden, wenn der Kompressor in Betrieb ist, oder mit dem Wert "Null" multipliziert werden, wenn der Kompressor nicht im Betrieb ist.

10. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Relativtemperatur T_{ci} und T_{ci} und die Schätztemperatur $T_s(T_c)_i$ für einen Zeitschritt i nach den folgenden Gleichungen berechnet werden:

bei ausgeschaltetem Kompressor

$$T_{ci} = T_{ci-1} - A T_{ci-1} \quad (\text{Gl. 1})$$

und bei eingeschaltetem Kompressor

$$T_{ci} = T_{ci-1} - A T_{ci-1} + B U_i \quad (\text{Gl. 2})$$

sowie für die Schätztemperatur

$$T_{si} = C T_{ci} + T_\infty \quad (\text{Gl. 3})$$

worin die Werte A bis C Matrizen mit konstanten Koeffizienten darstellen, die den Kompressor sowie die Kompressorumgebung, insbesondere hinsichtlich deren thermischen Eigenschaften kennzeichnen.

11. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** auch wenn die Schätztemperatur $T_s(T_c)$ größer als der Temperaturschwellwert $T_{\min}$ ist, der Kompressor eingeschaltet werden kann, wenn die bis zum Erreichen des oberen Temperaturschwellwertes $T_{\max}$ dauernde Betriebszeit des Kompressors ausreicht, um eine Druckmittelmenge zu fördern, die zur Befüllung eines Druckluftspeichers auf ein bestimmtes Druckniveau und/oder zur Befüllung von Luftfedern eines Kraftfahrzeuges um einen bestimmten Befüllwert ausreicht.

Claims

1. Method for controlling the operation of a compressor, in which the compressor is switched off by a control unit to avoid thermal damage if an estimated temperature value $T_s(T_c)$ calculated by said unit exceeds an upper threshold value T_{max} , or remains switched on or is switched on if there is a compression requirement and if a lower threshold value T_{min} is not reached, the estimated temperature value $T_s(T_c)$ of the compressor being determined indirectly and cyclically by means of a mathematical-physical model characterizing the cooling and heating properties of the compressor, **characterized in that** physical-technical influencing variables, which influence the estimated temperature $T_s(T_c)$ in a changing manner, are determined, **in that** at least one relative temperature T_{c1} ; T_{c2} , which describes the thermal state of the compressor, is determined with the aid of the influencing variables, **in that**, for this purpose, the currently applicable influencing variables are added to or subtracted from the cyclically prior value of the relative temperature T_{c1} ; T_{c2} , so that a currently applicable relative temperature T_{c1} ; T_{c2} is obtained as the result of this calculation, **in that** a currently applicable estimated temperature $T_s(T_c)$, which takes into account the heating and cooling behavior of the compressor, is then determined from this currently applicable relative temperature T_{c1} ; T_{c2} and the ambient temperature T_{∞} of the compressor, and **in that** this cyclically determined estimated temperature $T_s(T_c)$ is used for carrying out a limit value comparison with a lower temperature threshold value T_{min} and an upper temperature threshold value T_{max} , on the basis of which the operation of the compressor is controlled.
2. Method according to Claim 1, **characterized in that**, apart from other variables, the influencing variables include the electric voltage U_{comp} at the compressor as well as the counterpressure P of the compression medium downstream of the compressor and/or, in the case of closed pressure systems, the admission pressure of the pressure medium at the inlet of the compressor.
3. Method according to Claim 2, **characterized in that** the influencing variables are entered in a heating function $B(U)$, which describes the heating behavior of a specific compressor.
4. Method according to Claim 1, **characterized in that** an influencing variable $A(T_c)$ represents a cooling function which takes into account the cooling properties of a specific compressor and the surroundings in which it is installed.
5. Method according to at least one of the preceding claims, **characterized in that**, to calculate a current value of the relative temperatures $T_{c1,i}$; $T_{c2,i}$, the value of the cooling function $A(T_c)$ is subtracted from the last predetermined or calculated values of the relative temperatures $T_{c1,i-1}$; $T_{c2,i-1}$ if the compressor is not in operation in the time interval considered, and the value of a heating function $B(U)$ is added if the compressor is in operation in the time interval considered.
6. Method according to at least one of the preceding claims, **characterized in that** the initial value of the relative temperatures T_c is chosen such that the estimated temperature $T_s(T_c)$ of the compressor corresponds to the value of the ambient temperature T_{∞} at the installation location of the compressor.
7. Method according to Claim 6, **characterized in that** the initial value of the relative temperatures T_c is set to the value zero at the beginning of the compressor control method.
8. Method according to at least one of the preceding claims, **characterized by** the following method steps:
 - a) establishing the operating state of the compressor (on or off),
 - b) measuring the counterpressure P of the pressure medium downstream of the compressor and/or, in the case of closed systems, of the admission pressure upstream of the compressor,
 - c) measuring the currently applicable operating voltage U_{comp} of the compressor,
 - d) measuring or estimating the ambient temperature T_{∞} of the compressor,
 - e) determining the validity of the influencing variables, operating voltage U_{comp} and counterpressure P or the compressor inlet pressure (admission pressure),
 - f) calculating the current value of the heating function $B(U)$ by using heating-specific influencing variables U ,
 - g) calculating the current value of the cooling function $A(T_c)$ by using the characteristic temperatures of the last time clock,
 - h) calculating the characteristic relative temperatures T_{c1} ; T_{c2} by addition and/or subtraction of the current values of the heating function $B(U)$ and the cooling function $A(T_c)$,
 - i) calculating the estimated temperature $T_s(T_c)$ as a function of the characteristic relative temperatures T_{c1} ; T_{c2} and the ambient temperature T_{∞} ,

- j) comparison of the estimated temperature $T_s(T_c)$ with predetermined temperature threshold values T_{min} and T_{max} , where T_{min} is less than T_{max} ,
- k) clearance for starting the compressor if the estimated temperature $T_s(T_c)$ is less than or equal to T_{min} , or authorization to continue operation if the estimated temperature $T_s(T_c)$ is less than the temperature value T_{max} ,
- l) switching off the compressor if the estimated temperature $T_s(T_c)$ is greater than or equal to the temperature value T_{max} ,
- m) storing the characteristic relative temperatures T_{c1} ; T_{c2} for use in the next calculation run,
- n) waiting until the next time clock, and
- o) starting the next calculation run (step a).

9. Method according to Claim 8, **characterized in that** the validity of the measured variables, operating voltage U_{comp} and counterpressure P or admission pressure, is determined by these values being multiplied by the value "one" if the compressor is in operation or multiplied by the value "zero" if the compressor is not in operation.

10. Method according to at least one of the preceding claims, **characterized in that** the relative temperature T_{c1} ; T_{c2} and the estimated temperature $T_s(T_c)$ for a time increment i are calculated according to the following equations:

with the compressor switched off

$$T_{c_i} = T_{c_{i-1}} - A T_{c_{i-1}} \quad (\text{equation 1})$$

and with the compressor switched on

$$T_{c_i} = T_{c_{i-1}} - A T_{c_{i-1}} + B U_i \quad (\text{equation 2})$$

and for the estimated temperature

$$T_{s_i} = C T_{c_i} + T_{\infty} \quad (\text{equation 3})$$

in which the values A to C represent matrices with constant coefficients which characterize the compressor and the compressor surroundings, in particular with regard to their thermal properties.

11. Method according to at least one of the preceding claims, **characterized in that**, even if the estimated temperature $T_s(T_c)$ is greater than the temperature threshold value T_{min} , the compressor may be switched on if the operating time of the compressor up until the upper threshold value T_{max} is reached is adequate to convey an amount of pressure medium adequate for filling a compressed air accumulator to a specific pressure level and/or for filling pneumatic springs of a motor vehicle by a specific filling value.

Revendications

1. Procédé pour commander le fonctionnement d'un compresseur, dans lequel un appareil de commande débranche le compresseur pour éviter des dommages thermiques lorsqu'une valeur estimée de la température $T_s(T_c)$ calculée par cet appareil dépasse une valeur de seuil supérieur T_{max} , le laisse branché ou le branche lorsqu'il existe un besoin de compression ainsi que lorsqu'une valeur de seuil inférieur T_{min} n'est pas atteinte, la valeur estimée de la température $T_s(T_c)$ du compresseur étant déterminée indirectement et cycliquement au moyen d'un modèle physico-mathématique qui caractérise les propriétés de refroidissement et d'échauffement du compresseur, **caractérisé en ce que** des grandeurs d'action physico-techniques qui exercent leur action en modifiant la température estimée $T_s(T_c)$ sont déterminées, **en ce qu'**au moins une température relative T_{c1} ; T_{c2} qui décrit l'état thermique du compresseur est déterminée à l'aide des grandeurs d'action, **en ce que** dans ce but, les grandeurs d'action actuelles sont ajoutées et/ou soustraites de la valeur cyclique précédente de la température relative T_{c1} ; T_{c2} de manière à obtenir comme résultat de ce calcul une température relative actualisée T_{c1} ; T_{c2} , **en ce qu'**à

partir de cette température relative actualisée T_{c1} ; T_{c2} et de la température ambiante T_{∞} du compresseur, une température estimée actuelle $T_s(T_c)$ qui tient compte du comportement d'échauffement et de refroidissement du compresseur est déterminée et **en ce que** cette température estimée $T_s(T_c)$ déterminée cycliquement est utilisée pour réaliser une comparaison entre une valeur de seuil inférieur de température et une valeur de seuil supérieur de température T_{min} ; T_{max} , le fonctionnement du compresseur étant commandé sur base de cette comparaison.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'en** plus d'autres valeurs, la tension électrique U_{comp} appliquée sur le compresseur ainsi que la contre-pression P du fluide comprimé en aval du compresseur et/ou, pour des systèmes fermés, la pression du fluide sous pression en amont de l'entrée du compresseur font partie des grandeurs d'action.

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** des grandeurs d'action sont incorporées dans une fonction d'échauffement $B(U)$ qui caractérise le comportement d'échauffement d'un compresseur particulier.

4. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'une** grandeur d'action $A(T_c)$ représente une fonction de refroidissement qui tient compte des propriétés de refroidissement d'un compresseur particulier ainsi que de son environnement de montage.

5. Procédé selon au moins l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** pour calculer une valeur actualisée des températures relatives $T_{c1, i}$; $T_{c2, i}$, la valeur de la fonction de refroidissement $A(T_c)$ est déduite des dernières valeurs prédéterminées ou calculées des températures relatives $T_{c1, i-1}$; $T_{c2, i-1}$ lorsque le compresseur n'est pas en fonctionnement dans l'intervalle de temps considéré et on y ajoute la valeur de la fonction d'échauffement $B(U)$ lorsque le compresseur est en fonctionnement dans l'intervalle de temps considéré.

6. Procédé selon au moins l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la valeur initiale des températures relatives T_c est sélectionnée de telle sorte que la température estimée $T_s(T_c)$ du compresseur corresponde à la valeur de la température ambiante T_{∞} sur le site de montage du compresseur.

7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** la valeur initiale des températures relatives T_c au début du procédé de commande du compresseur est fixée à la valeur zéro.

8. Procédé selon au moins l'une des revendications précédentes, **caractérisé par** les étapes de traitement suivantes :

- a) détermination de l'état de fonctionnement du compresseur (marche ou arrêt),
- b) mesure de la contre-pression P du fluide comprimé en aval du compresseur et/ou, pour des systèmes fermés, de la pression qui règne en amont du compresseur,
- c) mesure de la tension de fonctionnement effective U_{comp} du compresseur,
- d) mesure ou estimation de la température ambiante T_{∞} du compresseur,
- e) détermination de la validité des grandeurs d'action tension de fonctionnement U_{comp} et contre-pression P ou pression à l'entrée du compresseur (pression amont),
- f) calcul de la valeur actuelle de la fonction d'échauffement $B(U)$ en recourant à des grandeurs d'action U spécifiques à l'échauffement,
- g) calcul de la valeur actuelle de la fonction de refroidissement $A(T_c)$ par recours aux températures caractéristiques lors de la dernière cadence d'horloge,
- h) calcul des températures relatives caractéristiques T_{c1} ; T_{c2} par addition et/ou soustraction des valeurs actuelles de la fonction d'échauffement $B(U)$ et de la fonction de refroidissement $A(T_c)$,
- i) calcul de la température estimée $T_s(T_c)$ en fonction des températures relatives caractéristiques T_{c1} ; T_{c2} et de la température ambiante T_{∞} ,
- j) comparaison de la température estimée $T_s(T_c)$ à des valeurs prédéterminées de seuil de température T_{min} et T_{max} , T_{min} étant inférieure à T_{max} ,
- k) autorisation de démarrage du compresseur lorsque la température estimée $T_s(T_c)$ est inférieure ou égale à la valeur de température T_{min} ou autorisation de redémarrage lorsque la température estimée $T_s(T_c)$ est inférieure à la valeur de température T_{max} ,
- l) débranchement du compresseur si la température estimée $T_s(T_c)$ est supérieure ou égale à la valeur de température T_{max} ,
- m) mise en mémoire des températures relatives caractéristiques T_{c1} ; T_{c2} pour les utiliser dans la boucle suivante de calcul,
- n) attente de l'étape de temps suivante et

o) lancement de la boucle de calcul suivante (étape a).

9. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en que** la validité des grandeurs de mesure tension de fonctionnement U_{comp} et contre-pression P ou pression amont est déterminée en multipliant ces valeurs par la valeur "un" lorsque le compresseur est en fonctionnement ou par la valeur "zéro" lorsque le compresseur n'est pas en fonctionnement.

10. Procédé selon au moins l'une des revendications précédentes, **caractérisé en que** les températures relatives T_{c1} et T_{c2} et la température estimée $T_s(Tc)_i$ dans une étape de temps i sont calculées par les équations suivantes :

lorsque le compresseur est débranché :

$$T_{c_i} = T_{c_{i-1}} - A T_{c_{i-1}} \quad (\text{équ. 1})$$

et lorsque le compresseur est débranché :

$$T_{c_i} = T_{c_{i-1}} - A T_{c_{i-1}} + B U_i \quad (\text{équ. 2})$$

ainsi que pour la température estimée:

$$T_{s_i} = C T_{c_i} + T_{\infty} \quad (\text{équ. 3})$$

dans lesquelles les valeurs A à C représentent des matrices à coefficients constants qui caractérisent le compresseur ainsi que l'environnement du compresseur, en particulier ses propriétés thermiques.

11. Procédé selon au moins l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, même lorsque la température estimée $T_s(Tc)$ est supérieure à la valeur de seuil de température T_{min} , le compresseur peut être branché si la durée de fonctionnement permanent du compresseur nécessaire pour atteindre la valeur de seuil supérieur de température T_{max} suffit pour refouler une quantité de fluide sous pression qui suffit pour remplir un réservoir d'air sous pression à un niveau de pression défini et/ou pour remplir à une valeur de remplissage définie des amortisseurs pneumatiques d'un véhicule automobile.

