



(11)

EP 2 598 755 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
26.08.2015 Patentblatt 2015/35

(51) Int Cl.:
F04D 27/02 ^(2006.01) **F04D 27/00** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11741157.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2011/062248

(22) Anmeldetag: **18.07.2011**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2012/013530 (02.02.2012 Gazette 2012/05)

(54) VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES VERDICHTERS

METHOD FOR OPERATING A COMPRESSOR

PROCÉDÉ POUR FAIRE FONCTIONNER UN COMPRESSEUR

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

(30) Priorität: **29.07.2010 DE 102010032652**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
05.06.2013 Patentblatt 2013/23

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft 80333 München (DE)**

(72) Erfinder: **WINKES, Georg 41564 Kaarst (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 0 336 092 EP-A2- 0 676 545
DE-A1-102007 035 927 DE-A1-102008 058 799
DE-T2- 69 728 254 DE-T5-112004 000 695
US-A1- 2009 274 565

EP 2 598 755 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Verdichters mit den installierten Messungen:

a) Saugdruckmessung, b) Enddruckmessung, c) Durchsatzmessung, wobei in einem Normalbetrieb, während dessen die Messungen fehlerfrei ablaufen, mittels eines ersten Regelungskennfeldes aus zweien der gemessenen Größen ein Sollwert für einen Pumpgrenzregler ermittelt wird, welcher diesen Sollwert mit der dritten Messgröße direkt oder indirekt vergleicht, wobei der Pumpgrenzregler bei einem Unterschreiten oder einem Überschreiten des dritten Messwertes oder einer Anwendung des dritten Messwertes im Vergleich mit dem Sollwert ein Bypassventil öffnet, so dass der Enddruck abgesenkt wird.

[0002] Bei dem Betrieb eines Verdichters ist darauf zu achten, dass das Verhältnis von Enddruck zu dem Eingangsdruck nicht so hoch wird, dass der Durchsatz durch den Verdichter eine gewisse Mindestmenge unterschreitet. Diese untere Schranke definiert sich im Wesentlichen durch stark ansteigende Vibrationen der Maschine, die unter anderem durch sogenannte Pumpstöße verursacht werden. Die Fachwelt bezeichnet die Grenze zwischen den regulären Betrieb und diesem sogenannten Pumpen als die Pumpgrenze. Diese Pumpgrenze hängt im Wesentlichen von dem Verhältnis zwischen Eingangsdruck und Enddruck ab. Zur Pumpgrenzregelung von Turboverdichtern werden Algorithmen verwendet, die auf Grundlage mehrerer Messwerte laufend den Abstand zur Pumpgrenze ermitteln. Wird dieser zu gering, so öffnet der Regler ein Bypassventil und stellt so einen Mindestabstand zur Pumpgrenze sicher, in dem der Enddruck abgesenkt wird und dementsprechend der erforderliche Durchsatz, Massenstrom oder Volumenstrom wieder hergestellt ist. Während des ungestörten Normalbetriebes schützt die sogenannte Pumpgrenzregelung zur Steuerung des Bypassventils den Verdichter vor Schäden, die durch das Pumpen verursacht werden würden, wobei bei einem Ausfall eines der beteiligten Messsignale der Schutz der Maschine vor diesen Schäden weiterhin gewährleistet sein muss.

[0003] Eine Möglichkeit, um auf einen Signalausfall an den Messstellen zu reagieren, ist der Ersatz des gestörten Messwertes durch den ungünstigsten denkbaren Messwert - also einen Wert, der eine größere Nähe zur Pumpgrenze ergibt, als es in Wirklichkeit der Fall ist. Somit ist die Maschine weiterhin vor Pumpstößen geschützt, aber es wird gegebenenfalls das meist als Regelventil ausgebildete Bypassventil unnötig geöffnet, so dass sich der Wirkungsgrad der Anlage verschlechtert. Schlimmstenfalls öffnet das Ventil so weit, dass sich der Durchsatz durch den Verdichter auf ein inakzeptables Minimum reduziert und so der in der Regel von dem Verdichtungsprozess stark abhängige angeschlossene Prozess nicht mehr aufrecht erhalten werden kann.

[0004] Neben der zuvor beschriebenen Möglichkeit ist es auch bekannt, dass der Pumpgrenzregler ein konstantes Ausgangssignal generiert im Falle einer Störung, welches das Ventil soweit öffnet, dass unter keinen Umständen ein Pumpen auftreten kann. Auch dies führt zu einer negativen Beeinflussung des angeschlossenen Prozesses.

[0005] In der Regel umfassen die gemessenen Messwerte auch eine Messung des Durchsatzes durch den Verdichter. In dem Zusammenhang ist es auch bekannt, bei einer Störung, die nicht die Messung der Durchsatzmenge betrifft, den Verdichter auf den Durchsatz einer Minimalmenge einzuregulieren, bei welcher ein Pumpen ausgeschlossen ist.

[0006] Eine weitere bekannte Möglichkeit, einem Störfall bei den Messungen zu begegnen, ist die Vorgabe, dass das Druckverhältnis als konstant und entsprechend dem größtmöglichen zu erwartenden angenommen wird, welches ebenfalls einen großen Abstand zu Pumpgrenze ergibt. Ein Ausfall der Saugdruckmessung lässt sich auf diese Weise nicht beherrschen.

[0007] Aus der US 2009/274565 A1 ist ein Verfahren zum Betrieb eines Verdichters bekannt mit Messungen von Saugdruck, Enddruck und Durchsatz. Bei einem Unterschreiten oder Überschreiten eines Sollwertbereichs für einen Pumpgrenzregler wird ein Bypassventil geöffnet um den Enddruck abzusenken.

[0008] EP 0 676 545 A2 schlägt ein Vorgehen für den Fall eines "Transmitter Failure" an einer ähnlichen Anordnung vor.

[0009] Ausgehend von den Problemen des Standes der Technik hat es sich die Erfindung zur Aufgabe gemacht, eine Rückfallstrategie bei Ausfall einer der vorgenannten Messungen für den Betrieb eines Verdichters der eingangs genannten Art zu entwickeln, welche trotz eines Höchstmaßes an Sicherheit einen akzeptablen Wirkungsgrad im fortgesetzten Betrieb gewährleistet.

[0010] Zur erfindungsgemäßen Lösung der Aufgabe wird ein Verfahren der eingangs genannten Art mit den Merkmalen des kennzeichnenden Teils des Anspruchs 1 vorgeschlagen.

[0011] Unter den Messwerten einer Saugdruckmessung oder Enddruckmessung versteht die Erfindung sowohl die gemessenen Parameter in einer für den physikalischen Parameter charakteristischen Einheit als auch eine Abwandlung dieses Messwertes durch eine Normierung, insbesondere eine Normierung, welche diesen Messwert dimensionslos macht. Zweckmäßig ist dies beispielsweise bei dem Saugdruck und dem Enddruck, wenn diese auf den Saugdruck normiert werden. Der Durchsatz wird regelmäßig mittels einer Differenzdruckmessung über eine Messblende gemessen und kann dementsprechend auch in der physikalischen Einheit eines Drucks angegeben werden und dementsprechend in gleicher Weise besonders zweckmäßig dimensionslos abgewandelt werden, wie der Saugdruck und der Enddruck. Grundsätzlich ist aber auch eine andersartige Mengenmessung möglich und die Umsetzung der Erfindung mit nicht

normierten oder dimensionsbehafteten gemessenen Größen. Der entscheidende Unterschied zu dem bisher im Stand der Technik bekannten Verfahren besteht darin, dass hinsichtlich der ausgefallenen Messgröße nicht einfach eine im Wesentlichen konstante Annahme getroffen wird, sondern dass einerseits eine bereits vorhandene andere Messgröße benutzt wird, um diese mit den noch verbliebenen intakten Messgrößen in einem Ersatzregelalgorithmus bzw. Ersatzregelkennfeld zu einem Sollwert für den Pumpgrenzregler umzusetzen. Dieser Unterschied führt zu einer wesentlich besseren Ausnutzung des möglichen Betriebsbereichs bei gleichzeitig verbessertem Wirkungsgrad gegenüber herkömmlichen Verfahren zum Betrieb von Verdichtern bei dem Ausfall einer der Messstellen, die Einfluss auf die Pumpgrenzregelung haben.

[0012] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass im Normalbetrieb aus der Saugdruckmessung und der Enddruckmessung mittels des ersten Regelungskennfeldes ein Sollwert für den Pumpgrenzregler ermittelt wird, welcher einem Mindestwert für den Durchsatz entspricht. Bevorzugt sind als die weitere Messung der anderen physikalischen Größe des Verdichtungsprozesses die Messung des Anstellwinkels eines Eintrittsleitapparates oder der Drehzahl. Die Variation des Anstellwinkels des Eintrittsleitapparates oder der Drehzahl eignet sich besonders für die ersatzweise Regelung bei ausgefallener Messung des Enddruckes oder des Eingangsdruckes. Einer bestimmten Stellung des Eintrittsleitapparates lässt sich hierbei jeweils ein maximales Verhältnis von Enddruck zu Eintrittsdruck zuordnen. Analoges gilt für die Drehzahl. Auf diese Weise ergibt sich jeweils eine besonders gute Annäherung an die Pumpgrenzlinie für die ersatzweise Regelung. Zweckmäßig ist die Umsetzung des Zusammenhangs zwischen dem maximalen Verhältnis zwischen Enddruck und Eingangsdruck sowie dem Anstellwinkel des Eintrittsleitapparates oder der Drehzahl mittels eines Zusatzkennfeldes, dass im Falle einer Störung der Messung des Enddruckes oder des Eingangsdruckes von dem Pumpgrenzregler zur Umsetzung der Größen ineinander herangezogen wird.

Falls die Messung des Enddruckes ausgefallen sein sollte, ergibt sich eine gute Annäherung für das Druckverhältnis, aus welchen der Mengensollwert gebildet wird, aus:

$$\left. \frac{p_E}{p_A} \leq \frac{p_E}{p_A} \right|_{\max} = f(\alpha) .$$

[0013] Das Zusatzkennfeld kann auch herangezogen werden, falls es zu einem Ausfall der Saugdruckmessung kommen sollte. Der Mindestmengensollwert wird dann gemäß der obigen Näherung für das maximale Druckverhältnis

gebildet. Die Formel für die Berechnung der Istwerte enthält oft den Saugdruck, z.B. in der Form $\dot{V} \approx \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho a A}}$. Eine

Abschätzung ohne Verwendung des Saugdrucks kann z.B. durch folgende Formel gegeben werden:

$$\left. \frac{\Delta p}{p_A} \leq \frac{\Delta p}{p_E} * \frac{p_E}{p_A} \right|_{\min}$$

[0014] Sollte die Messung des Durchsatzes, insbesondere die Messung des Differenzdrucks über eine Messblende ausfallen, ist es in Weiterbildung der Erfindung zweckmäßig, wenn von dem Pumpgrenzregler folgende Gleichung umgesetzt wird:

$$\left. \frac{p_E}{p_A} \leq S * \frac{p_E}{p_A} \right|_{\min} = f(\alpha) \text{ oder } f(n) \text{ wobei } S < 1 \text{ (Sicherheitsbeiwert)}$$

[0015] Im vorliegenden ist die Erfindung anhand eines speziellen Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf Zeichnungen zum besseren Verständnis beschrieben, wobei sich dem Fachmann insbesondere aus beliebiger Kombination der Patentansprüche weitere Ausführungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung der einzelnen Komponenten eines Verdichters, wie er mittels des Verfahrens nach der Erfindung geregelt wird,

Figur 2 die Darstellung einer Regellinie aus dem Linienzug im Regelungskennfeld für einen Pumpgrenzregler im normalen Betrieb,

Figur 3 die Darstellung eines zusätzlichen Kennfeldes für den Pumpgrenzregler,

Figur 4 ein Flussdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0016] Figur 1 zeigt eine Verdichter CO mit den dazugehörigen Hilfssystemen und einen Antrieb T, der hier in der Art eines Heißgasexpanders ausgebildet ist. Der Verdichter CO empfängt Prozessfluid PF auf einer Saugleitung SL bei einem Eintrittsdruck PA und verdichtet dieses auf einen Enddruck PE während er es auf eine Druckleitung PL fördert. Das verdichtete Prozessfluid PF wird nach dem Verdichter CO in einem Wärmetauscher CL gekühlt. Eingangsseitig auf der Saugleitung SL des Verdichters CO wird mittels einer Temperaturmessstelle TT eine Eingangstemperatur TE, mittels einer Volumenmessstelle FE über eine Druckdifferenz ΔP einer dortigen Messblende ein Volumenstrom VF und mittels einer einfachen Druckmessstelle PAE der Eingangsdruck PA gemessen. Unmittelbar vor dem Eintritt in das Laufrad des Verdichters CO befindet sich noch ein Eintrittsleitapparat ELA, der auf den Anstellwinkel α eingestellt ist. Zweckmäßig ist entweder der Antrieb T drehzahlvariabel ausgebildet oder ein Eintrittsleitapparat ELA vorgesehen. Ein Mengenregler MCTR steuert den Anstellwinkel α des Eintrittsleitapparates ELA durch Vorgabe eines Sollwertes αS für den Anstellwinkel α . Der Istwert αC für den Anstellwinkel α wird an den Mengenregler MCTR von einem Stellungsgeber ZT übermittelt.

[0017] Auf der Druckleitung wird hinter dem Wärmetauscher CL der Enddruck PE gemessen mittels einer Druckmessstelle PEE. Die Ergebnisse sämtlicher Messungen werden von einer Regelung CTR erfasst, wobei ein Teil dieser Regelung eine Pumpgrenzregelung PCTR ist. Entscheidend für die Pumpgrenzregelung ist die Ansteuerung eines Bypassventils BV, dass als Regelventil ausgebildet ist und die Öffnung eines Bypasses BP steuert, der die Druckleitung PL mit der Saugleitung SL über eine definierte Öffnung kurz schließt, wenn der Verdichter CO droht, den Zustand des Pumpens zu erreichen.

[0018] Figur 2 zeigt eine Betriebspunkt OP und eine Regellinie CTRL als Auszug aus dem hier nicht vollständig dargestellten Regelungskennfeld CTFE. Die Y-Koordinate des dargestellten Diagramms gibt das Verhältnis von Enddruck PE zu Eingangsdruck PA wieder und die X-Koordinate das Verhältnis von dem Differenzdruck ΔP an der Durchsatzmessung zu dem Eingangsdruck PA. Das gemessene Verhältnis des Enddrucks PE zu dem Eingangsdruck PA ist Grundlage für die Ermittlung des Sollwertes TV des Pumpgrenzreglers PCTR. Der Istwert ΔV in dem Betriebspunkt OP wird über das Verhältnis des Differenzdrucks ΔP im Verhältnis zu dem Eingangsdruck PA gebildet. Das gezeigte Diagramm bringt im Wesentlichen ein Verhältnis der Verdichtungsleistung auf der Y-Koordinate und dem Durchsatz durch den Verdichter CO auf der X-Koordinate zum Ausdruck. Die Pumpgrenzregelung PCTR öffnet das Bypassventil BV, wenn der Betriebspunkt OP hinsichtlich des Durchsatzes den Sollwert TV bzw. die Pumpgrenzlinie CTRL erreicht.

[0019] Die Präzision der Regelung lässt sich noch zusätzlich verbessern, wenn die X-Koordinate des Regelungskenn-

feldes CTFE statt $\frac{\Delta p}{p_A}$ zusätzlich den Temperatureinfluss am Verdichtereingang berücksichtigt mit $\frac{\Delta p * TE}{p_A}$. Die

Regelung sieht nicht voraus, dass der Eingangsdruck PA konstant ist. Figur 3 zeigt ein Zusammenhang zwischen dem Anstellwinkel α als Eingangsgröße und minimalen sowie maximalen Verhältnissen zwischen Enddrücken PE und Eingangsdrücken PA dargestellt in einem Ersatzregelungskennfeld SCTFE, welches von der Pumpgrenzregelung PCTR umgesetzt wird, wenn die Messung des Eingangsdrucks oder des Enddrucks oder der Menge ausfällt. Anhand der Messung des Anstellwinkels α lassen sich diese minimalen und maximalen Druckverhältnisse zwischen Eingang und Ausgang ermitteln und gemäß der in Figur 4 dargestellten Abfolge in dem erfindungsgemäßen Verfahren umsetzen.

[0020] Figur 4 zeigt ein Ablaufdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens. In dem Ablaufdiagramm der Figur 4 ist das erfindungsgemäße Verfahren in vier aufeinander folgende Schritte gegliedert, wobei in einem ersten Schritt mindestens drei Messungen erfolgen, vorliegend der Eingangsdruck PA, der Enddruck PE und eine zur Ermittlung des Durchsatzes erfolgte Differenzdruckmessung ΔP . Sind diese Messungen unter 1) störungsfrei (Y), geht das Verfahren über in Schritt 2), währenddessen anhand eines Regelungskennfeldes CTFE mittels der Messungen der Betriebspunkt OP bestimmt wird und anhand der Differenz zu der Regellinie CTRL einen Sollwert TF. In dem darauffolgenden Schritt 3) wird der Sollwert TV mit der Druckdifferenz ΔP verglichen, wobei bei einem größeren Wert von ΔP gegenüber TV in einem vierten Schritt das Bypassventil BV geschlossen bleibt und anderenfalls geöffnet wird. Sollte im Verfahrensschritt 1) eine Störung einer der Messungen vorliegen, wird eine weitere Messung d) zur Auswertung in einem Ersatzregelungskennfeld SCTFE herangezogen zur Ermittlung eines Ersatzsollwertes ETV. In dem darauffolgenden Schritt 3a) wird in gleicher Weise, wie in Schritt 3) ein Vergleich durchgeführt, hier zwischen dem Enddruck PE und dem Ersatzsollwert TVE. Sollte der Enddruck PE größer sein, erfolgt im Verfahrensschritt 4) ein Verschließen des Bypassventils BV, anderenfalls ein Öffnen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Verdichters (CO) mit den installierten Messungen

- a) Saugdruckmessung (PA),
- b) Enddruckmessung (PE),
- c) Durchsatzmessung (ΔP),

wobei in einem Normalbetrieb, während dessen die Messungen fehlerfrei ablaufen, mittels eines ersten Regelungskennfeldes (CTFE) aus einer oder zweien der gemessenen Größen ein Sollwert für einen Pumpgrenzregler (PCTR) ermittelt wird, welcher diesen mit der dritten Messgröße direkt oder indirekt vergleicht, wobei der Pumpgrenzregler (PCTR) bei einem Unterschreiten oder einem Überschreiten des Sollwertes (TV) ein Bypassventil (BV) öffnet, so dass der Enddruck (PE) abgesenkt oder der Durchfluss durch den Verdichter erhöht wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

bei Ausfall mindestens einer der Messungen

- a) Saugdruckmessung (PA),
- b) Enddruckmessung (PE) oder

c) Durchsatzmessung (ΔP), eine weitere Messung einer anderen physikalischen Größe des Verdichtungsprozesses zusammen mit einer Messgröße der verbleibenden Messungen oder einer Abwandlung dieser Messgröße auf der Grundlage eines Zusatzkennfeldes Eingangsgröße für ein Ersatzregelungskennfeld (SCTFE) ist, aus welchem ein Maximalwert oder ein Minimalwert der gestörten Messgröße ermittelt wird, welcher zur Bildung des Sollwertes im ersten Regelungskennfeld (CTFE) herangezogen wird oder selber als Ersatzsollwert (TV) Eingangsgröße für den Pumpgrenzregler (PCTR) ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

wobei in einem Normalbetrieb mittels des ersten Regelungskennfeldes (CTFE) aus dem Saugdruck (PA) und dem Enddruck (PE) der Sollwert (TV) für den Pumpgrenzregler (PCTR) ermittelt wird, welcher einen Mindestwert für den Durchsatz entspricht, wobei der Pumpgrenzregler bei einem Unterschreiten des Mindestwertes für den Durchsatz das Bypassventil (BV) öffnet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

wobei die weitere Messung die Messung des Anstellwinkels (α) eines Eintrittsleitapparates (ELA) ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

wobei die weitere Messung die Messung der Drehzahl (n) des Antriebs (T) ist.

5. Verfahren nach Anspruch 3,

wobei bei einem Ausfall der Messung des Saugdrucks (PA) oder der Messung des Enddrucks (PE) die weitere Messung der anderen physikalischen Größe die Messung des Anstellwinkels (α) des Eintrittsleitapparates (ELA) ist und der maximale Enddruck (PE) oder das maximale Verhältnis von Saugdruck (PA) zu Enddruck (PE) sich aus der Eingabe des Anstellwinkels (α) in das Zusatzkennfeld ergibt.

6. Verfahren nach Anspruch 4,

wobei bei einem Ausfall der Messung des Saugdrucks (PA) oder der Messung des Enddrucks (PE) die weitere Messung der anderen physikalischen Größe die Messung der Drehzahl (n) des Antriebs (T) ist und der maximale Enddruck (PE) oder das maximale Verhältnis von Saugdruck (PA) zu Enddruck (PE) sich aus der Eingabe der Drehzahl (n) in das Zusatzkennfeld ergibt.

7. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4,

wobei der Saugdruck (PA) und/oder der Enddruck (PE) und/oder der Durchsatz (Δp) als Eingangsgröße eines Kennfeldes auf eine Prozessgröße, insbesondere den Saugdruck (PA), normiert sind.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5,

wobei bei einem Ausfall der Messung des Enddrucks (PE) oder des Saugdrucks (PA) gilt:

$$\frac{p_E}{p_A} \leq \frac{p_E}{p_A} \Big|_{\max} = f(\alpha) \quad \text{oder} \quad \frac{p_E}{p_A} \leq \frac{p_E}{p_A} \Big|_{\max} = f(n)$$

mit:

α = Anstellwinkels Eintrittsleitapparate (ELA)

n = Drehzahl Antrieb (T)

9. Verfahren nach Anspruch 6,
wobei bei einem Ausfall der Messung des Saugdrucks (P_A) außerdem gilt:

$$\frac{\Delta p}{P_A} \leq \Delta p \cdot \frac{P_E}{P_A} \Big|_{\min} \cdot P_E \text{ mit } \frac{P_E}{P_A} \Big|_{\min} = f(\alpha) \text{ oder } f(n)$$

10. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 3 bis 5,
wobei bei einem Ausfall der Messung des Durchsatzes (Δp) vom Regler das Druckverhältnis gemäß:

$$\frac{P_E}{P_A} \leq \frac{P_E}{P_A} \Big|_{\min} \cdot S \text{ mit } S < 1$$

begrenzt wird.

Claims

1. Method for operating a compressor (CO), comprising the installed measurements of:

- a) suction pressure measurement (P_A),
- b) final pressure measurement (P_E),
- c) throughput measurement (ΔP),

wherein, in normal operation, during which the measurements proceed faultlessly, a target value for a surge limiter (PCTR) is determined from one or two of the measured variables by means of a first control characteristic map (CTFE) and the surge limiter compares this target value with the third measured variable directly or indirectly, wherein the surge limiter (PCTR) opens a bypass valve (BV) if the third measured value falls below or exceeds the target value (TV), with the result that the final pressure (P_E) is lowered or the flow through the compressor is increased, **characterized in that**,
in the event of failure of at least one of the measurements

- a) suction pressure measurement (P_A),
- b) final pressure measurement (P_E) or
- c) throughput measurement (ΔP), a further measurement of another physical variable of the compression process, together with a measured variable of the remaining measurements or a modification of this measured variable on the basis of a supplementary characteristic map, is an input variable for a substitute control characteristic map (SCTFE), from which a maximum value or a minimum value of the fault-affected measured variable is determined and is used to form the target value in the first control characteristic map (CTFE) or, itself as a substitute target value (TV), is an input variable for the surge limiter (PCTR).

2. Method according to Claim 1, wherein, in normal operation, the target value (TV) for the surge limiter (PCTR), which corresponds to a minimum value for the throughput, is determined from the suction pressure (P_A) and the final pressure (P_E) by means of the first control characteristic map (CTFE), wherein the surge limiter opens the bypass valve (BV) if the throughput falls below the minimum value for the throughput.
3. Method according to Claim 1 or 2, wherein the further measurement is the measurement of the setting angle (α) of an intake guiding apparatus (ELA).
4. Method according to Claim 1 or 2, wherein the further measurement is the measurement of the rotational speed (n)

of the drive (T).

5. Method according to Claim 3, wherein, in the event of a failure of the measurement of the suction pressure (PA) or the measurement of the final pressure (PE), the further measurement of the other physical variable is the measurement of the setting angle (α) of the intake guiding apparatus (ELA) and the maximum final pressure (PE) or the maximum ratio of the suction pressure (PA) to the final pressure (PE) is obtained from the input of the setting angle (α) into the supplementary characteristic map.
6. Method according to Claim 4, wherein, in the event of a failure of the measurement of the suction pressure (PA) or the measurement of the final pressure (PE), the further measurement of the other physical variable is the measurement of the rotational speed (n) of the drive (T) and the maximum final pressure (PE) or the maximum ratio of the suction pressure (PA) to the final pressure (PE) is obtained from the input of the rotational speed (n) into the supplementary characteristic map.
7. Method according to at least one of Claims 1 to 4, wherein the suction pressure (PA) and/or the final pressure (PE) and/or the throughput (Δp) as the input variable of a characteristic map are normalized to a process variable, in particular the suction pressure (PA).
8. Method according to one of Claims 3 to 5, wherein, in the event of a failure of the measurement of the final pressure (PE) or the suction pressure (PA), the following applies:

$$\frac{p_E}{p_A} \leq \left. \frac{p_E}{p_A} \right|_{\max} = f(\alpha) \quad \text{or} \quad \frac{p_E}{p_A} \leq \left. \frac{p_E}{p_A} \right|_{\max} = f(n)$$

where:

α = setting angle of the intake guiding apparatus (ELA)
n = rotational speed of the drive (T).

9. Method according to Claim 6, wherein, in the event of a failure of the measurement of the suction pressure (PA), the following also applies:

$$\frac{\Delta p}{p_A} \leq \Delta p * \left. \frac{p_E}{p_A} \right|_{\min} * p_E \quad \text{with} \quad \left. \frac{p_E}{p_A} \right|_{\min} = f(\alpha) \quad \text{or} \quad f(n).$$

10. Method according to at least one of Claims 3 to 5, wherein, in the event of a failure of the measurement of the throughput (Δp), the pressure ratio is limited by the limiter according to:

$$\frac{p_E}{p_A} \leq \left. \frac{p_E}{p_A} \right|_{\min} * S \quad \text{with} \quad S < 1.$$

Revendications

1. Procédé pour faire fonctionner un compresseur (CO) ayant les mesurages installés

- a) mesurage (PA) de la pression d'aspiration,
- b) mesurage (PE) de la pression finale,
- c) mesurage (ΔP) du débit,

dans lequel, dans un fonctionnement normal pendant lequel les mesurages se déroulent sans erreur, on détermine au moyen d'un premier diagramme (CTFE) caractéristique de régulation, à partir d'une ou de deux des grandeurs mesurées, une valeur de consigne pour un régulateur (PCTR) de limite de pompage, lequel compare celle-ci directement ou indirectement à la troisième grandeur de mesure, le régulateur (PCTR) de limite de pompage ouvrant une vanne (BV) de dérivation, si l'on passe en dessous ou au-dessus de la valeur (TV) de consigne, de manière à abaisser la pression (PE) finale ou à augmenter le débit dans le compresseur,

caractérisé en ce que

si est manquant au moins l'un des mesurages

- a) mesurage (PA) de la pression d'aspiration,
- b) mesurage (PE) de la pression finale,
- c) mesurage (ΔP) du débit,

un mesurage supplémentaire d'une autre grandeur physique du processus de compression, ensemble avec une grandeur de mesure parmi les mesurages restants ou une variante de cette grandeur de mesurage, est, sur la base d'un diagramme caractéristique supplémentaire, une grandeur d'entrée pour un diagramme (SCTFE) caractéristique de réglage de remplacement, à partir duquel on détermine une valeur maximum ou une valeur minimum de la grandeur de mesure perturbée, valeur dont on tire parti pour la formation de la valeur de consigne dans le premier diagramme (CTFE) caractéristique de régulation ou qui soi-même est, comme valeur (TV) de consigne de remplacement, une grandeur d'entrée pour le régulateur (PCPR) de limite de pompage.

2. Procédé suivant la revendication 1,

dans lequel, dans un fonctionnement normal, on détermine au moyen du premier diagramme (CTFE) caractéristique de régulation, à partir de la pression (PA) d'aspiration et de la pression (PE) finale, la valeur (TV) de consigne pour le régulateur (PCTR) de limite de pompage, valeur qui correspond à une valeur minimum pour le débit, le régulateur de limite de pompage ouvrant la vanne (BV) de dérivation, si l'on passe en dessous de la valeur minimum pour le débit.

3. Procédé suivant la revendication 1 ou 2,

dans lequel le mesurage supplémentaire est le mesurage de l'angle (α) d'attaque d'un dispositif (ELA) de conduite d'entrée.

4. Procédé suivant la revendication 1 ou 2,

dans lequel le mesurage supplémentaire est le mesurage de la vitesse (n) de rotation de l'entraînement (T).

5. Procédé suivant la revendication 3,

dans lequel, si le mesurage de la pression (PA) d'aspiration ou le mesurage de la pression (PE) finale est manquant, le mesurage supplémentaire de l'autre grandeur physique est le mesurage de l'angle (α) d'attaque du dispositif (ELA) de conduite d'entrée et la pression (PE) finale maximum ou le rapport maximum de la pression (PA) d'aspiration à la pression (PE) finale provient de l'entrée de l'angle (α) d'attaque dans le diagramme caractéristique supplémentaire.

6. Procédé suivant la revendication 4,

dans lequel, si le mesurage de la pression (PA) d'aspiration ou le mesurage de la pression (PE) finale est manquant, le mesurage supplémentaire de l'autre grandeur physique est la mesure de la vitesse (n) de rotation d'entraînement (T) à la pression (PE) finale maximum ou le rapport maximum de la pression (PA) d'aspiration à la pression (PE) finale provient de l'entrée de la vitesse (n) de rotation dans le diagramme caractéristique supplémentaire.

7. Procédé suivant au moins l'une des revendications 1 à 4,

dans lequel la pression (PA) d'aspiration et/ou la pression (PE) finale et/ou le débit (Δp) sont, comme grandeur

d'entrée d'un diagramme caractéristique, normés sur une grandeur de processus, notamment sur la pression (PA) d'aspiration.

8. Procédé suivant l'une des revendications 3 à 5,

dans lequel, si le mesurage de la pression (PE) finale ou de la pression d'aspiration (PA) est manquant, on a :

$$\frac{p_E}{p_A} \leq \frac{p_E}{p_A} \Big|_{\max} = f(\alpha) \quad \text{ou} \quad \frac{p_E}{p_A} \leq \frac{p_E}{p_A} \Big|_{\max} = f(n)$$

avec :

α = angle d'attaque des dispositifs (ELA) de conduite d'entrée

n = vitesse de rotation d'entraînement (T).

9. Procédé suivant la revendication 6,

dans lequel, si le mesurage de la pression (PA) d'aspiration est manquant, on a en outre :

$$\frac{\Delta p}{p_A} \leq \Delta p * \frac{p_E}{p_A} \Big|_{\min} * p_E \quad \text{avec} \quad \frac{p_E}{p_A} \Big|_{\min} = f(\alpha) \quad \text{ou} \quad f(n)$$

10. Procédé suivant l'une des revendications 3 à 5,

dans lequel, si le mesurage des débits (Δp) est manquante, on limite par le régulateur le rapport de pression suivant :

$$\frac{p_E}{p_A} \leq \frac{p_E}{p_A} \Big|_{\min} * S \quad \text{avec} \quad S < 1$$

FIG 1

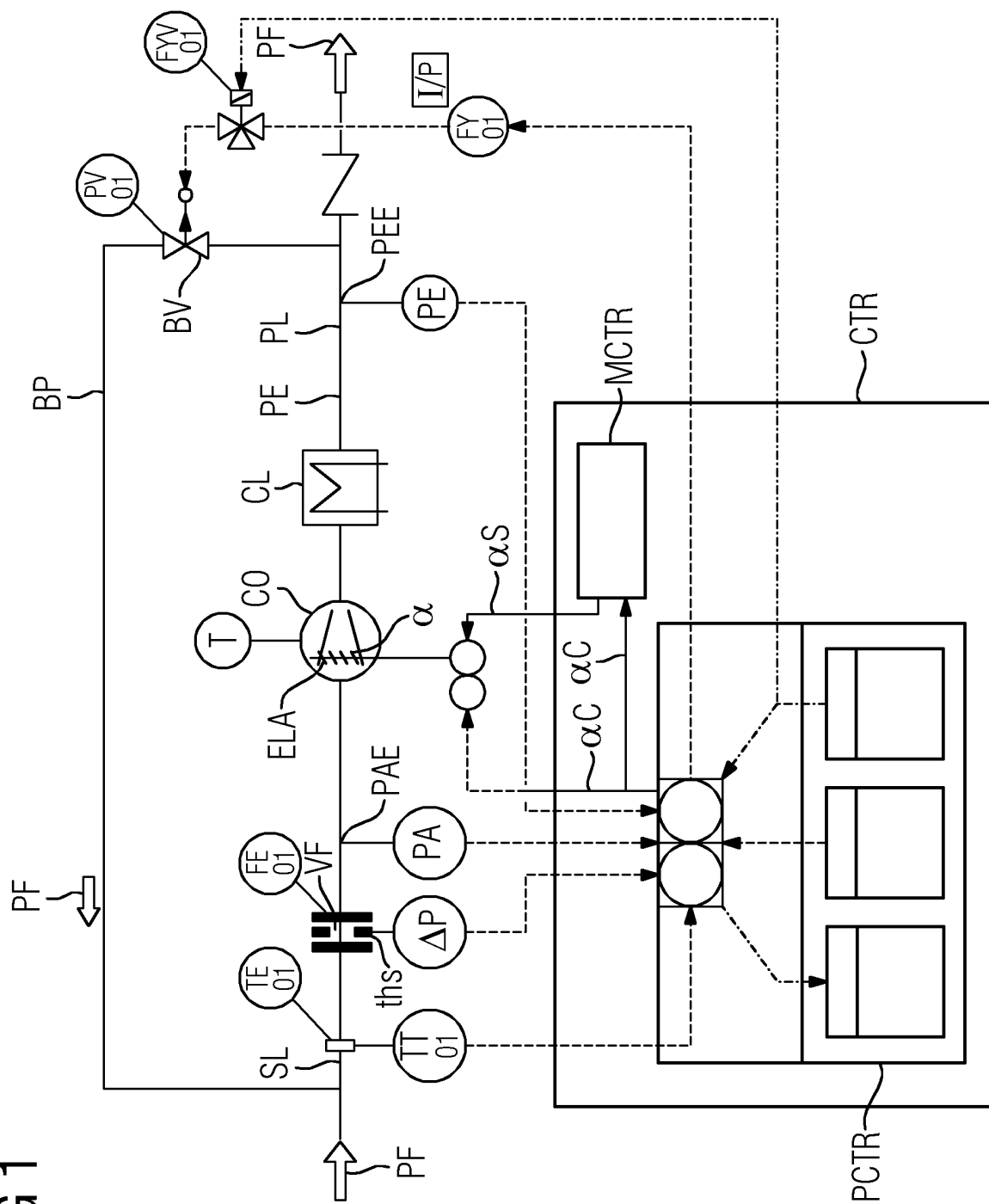


FIG 2

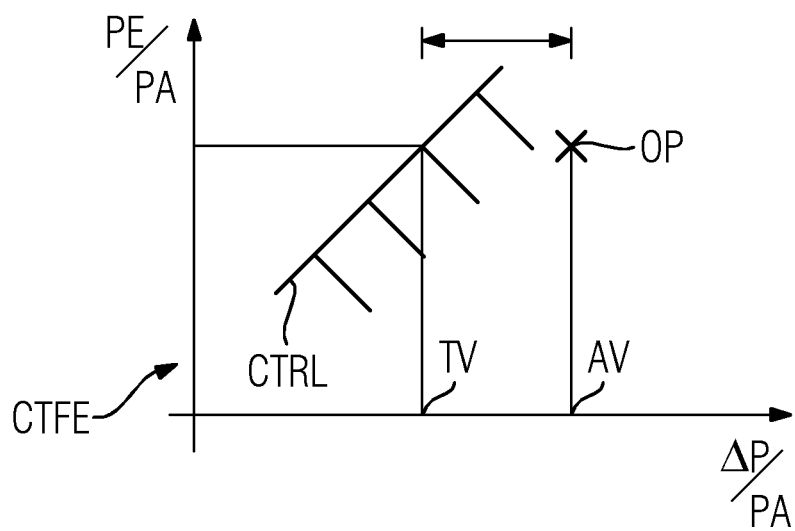


FIG 3

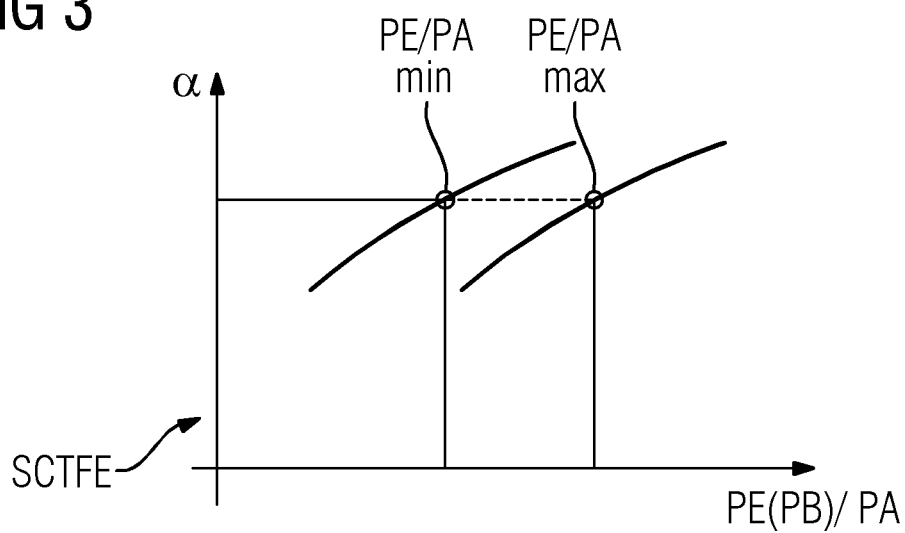
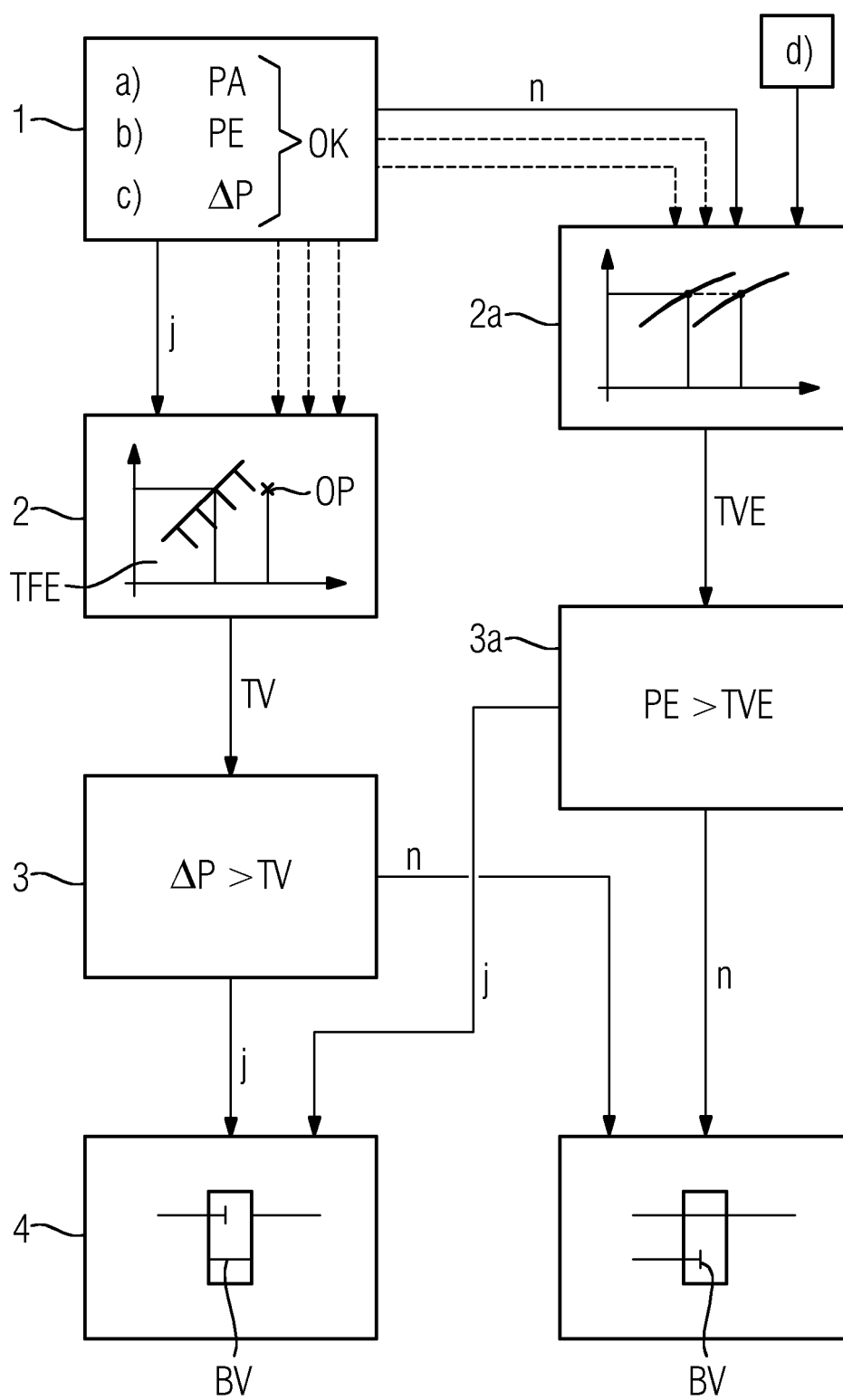


FIG 4



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

- US 2009274565 A1 [0007]
- EP 0676545 A2 [0008]