



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 0 757 180 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**24.10.2001 Patentblatt 2001/43**

(51) Int Cl.7: **F04D 27/02**

(21) Anmeldenummer: **96110205.0**

(22) Anmeldetag: **25.06.1996**

(54) **Verfahren und Vorrichtung zum Betreiben von Strömungsmaschinen mit Reglern mit hoher Proportionalverstärkung**

Method and device for operating turbomachines with controllers having a high proportional gain

Procédé et dispositif d'opération des turbomachines avec régulateurs à gain proportionnel élevé

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**CH DE GB IT LI NL**

(30) Priorität: **01.08.1995 DE 19528253**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**05.02.1997 Patentblatt 1997/06**

(73) Patentinhaber: **MAN Turbomaschinen AG GHH  
BORSIG  
46145 Oberhausen (DE)**

(72) Erfinder: **Blotenberg, Wilfried, Dr.-Ing.  
46535 Dinslaken (DE)**

(74) Vertreter: **Radünz, Ingo, Dipl.-Ing.  
Schumannstrasse 100  
40237 Düsseldorf (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 336 092                    EP-A- 0 477 055  
DE-A- 2 623 899                    DE-A- 3 809 881**

**EP 0 757 180 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]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betreiben von Strömungsmaschinen zur Vermeidung von Reglerinstabilitäten mit hoher Proportionalverstärkung des Reglers mit den Merkmalen des Oberbegriffes der Ansprüche 1 und 7.

**[0002]** Pumpgrenzregelungen sind dadurch charakterisiert, daß sie besonders schnell öffnende Regelventile benötigen. Aus der Fachliteratur ist bekannt, daß zum Erreichen einer guten Reglerstabilität gleiche Stell- dynamik er Stellventile mit möglichst kurzen Stellzeiten in Öffnungsrichtung und Schließrichtung erforderlich ist. Dieses bedeutet, daß ein Abblaseventil, welches, bedingt durch die Prozeßanforderungen, schnell öffnen muß, zum Erreichen einer guten Reglerstabilität auch schnell schließen soll.

**[0003]** In der Praxis hat man festgestellt, daß eine gewisse Unsymmetrie zwischen Öffnungs- und Schließgeschwindigkeit nicht störend ist. So werden schon seit jeher Drosseln in den Ölkreislauf hydraulischer Pumpgrenzregler oder Abblaseventile bzw. in die Zuluftversorgung von pneumatischen Abblaseventilen eingebaut. Da die Antriebe dieser Abblaseventile generell so aufgebaut sind, daß eine Feder die Abblaseventile öffnet und das Schließen der Abblaseventile durch Öl- oder Luftdruck erreicht wird, wird zum Öffnen der Abblaseventile Steuermedium (Öl oder Luft) abgesteuert, zum Schließen jedoch Steuermedium aus der Versorgungsleitung zugeführt. Wird nun konstruktiv sichergestellt, daß die freien Querschnitte in öffnungsrichtung sehr groß sind, in Schließrichtung jedoch eine Drosselstelle vorgesehen ist, erhält man ein unsymmetrisches Stellverhalten. Dieses Stellverhalten wird eingesetzt, um Maschinen-gefährdungen durch schnellschließende Abblaseventile zu vermeiden. In aller Regel werden die Drosseln derart dimensioniert, daß das Abblaseventil in ca. 20 Sek. von der ganz geöffneten in die ganz geschlossene Stellung gefahren wird.

**[0004]** Einzige Aufgabe dieser Drosseln ist es, bei einem Eingriff von Hand in den Regelkreis zu vermeiden, daß aufgrund einer Fehlbedienung die Abblaseventile in 1 - 2 Sek. geschlossen sind und damit der Turbokompressor in den instabilen Bereich geraten kann. Schließen die Abblaseventile dagegen in 20 Sekunden, hat das Bedienungspersonal auch bei einer Fehlbedienung noch ausreichend Gelegenheit, den Bedienungsfehler zu korrigieren, bevor das Abblaseventil ganz geschlossen ist.

**[0005]** Es ist offensichtlich, daß die Drosselstellen im Zulauf des Steuermediums nicht beliebig klein werden dürfen. Es besteht bei zu engen Drosselstellen die Gefahr, daß sich enge Querschnitte durch kleine Schmutzpartikel verstopfen und damit jegliche Abblase-Ventilverstellung unterbleibt. Aus diesem Grunde sind praktisch längere Stellzeiten als 20 Sek. für den gesamten Schließvorgang nicht realisierbar.

**[0006]** In der Praxis hat sich gezeigt, daß diese Un-

symmetrie für das Regelverhalten und die Reglerstabilität nicht unzulässig schädlich ist.

**[0007]** Aus der DE-A-2 623 899 ist ein Pumpgrenzregler bekannt, der einen nichtlinearen Verstärker aufweist. Dieser nichtlineare Verstärker hebt die Regelkreisverstärkung beim Überschreiten der Abblaseventile um mehr als 2 % um den Faktor 5 an. Da die Pumpgrenzregler nur dann optimal arbeiten, wenn sie im Normalbetrieb mit maximal zulässiger Verstärkung betrieben werden, bedeutet diese Verstärkungsanhebung um 5, daß der Regler mit dieser hohen Verstärkung instabil arbeitet.

**[0008]** Eine weitere wesentliche Verbesserung des gesamten Regelkreisverhaltens wird dadurch erreicht, daß ein nachführbarer Integralregler eingesetzt wird. Dieses Verfahren ist in der DE-A-3 809 881 beschrieben. Es wird stets der Ausgang des Reglers mit der aktuellen Stellung des Abblaseventils verglichen.

**[0009]** Aus der EP-A-0 336 092 ist ein Verfahren zum Schützen eines Turboverdichters vor Pumpen mittels Abblasens über ein Abblaseventil bekannt. Dabei wird das Abblaseventil mit erhöhter Verstellgeschwindigkeit in Öffnungsrichtung und mit langsamerer Verstellgeschwindigkeit in Schließrichtung verstellt. Parallel zu der Pumpgrenzregelung wird eine im Notfall eingreifende Sicherheitssteuerung betrieben.

**[0010]** In der EP-A-0 477 055 ist eine Vorrichtung bzw. ein Verfahren zum Schutz eines Kompressors gegen instabilen Betrieb unter Verwendung eines Pumpgrenzreglers und eines Pumpgrenzregelventils beschrieben. Die bekannte Vorrichtung weist außer dem Pumpgrenzregelventil ein Elektroventil zum Entleeren des Servomotors des Pumpgrenzregelventils und einen

**[0011]** Rampengenerator auf, der in einem parallelen Regelkreis angeordnet ist. Bei dieser Steuervorrichtung ist in Öffnungsrichtung des Abblaseventiles keine zeitliche Begrenzung wirksam, in Schließrichtung ist jedoch eine zeitliche Begrenzung des Schließvorganges des Abblaseventiles vorgesehen. Die Öffnungs- und Schließbewegungen werden durch das Elektroventil und den Rampengenerator vorgenommen. Dabei bewirkt das Elektroventil das schnelle Öffnen des Abblaseventils, während das zeitlich begrenzte Schließen über den in dem parallelen Regelkreis angeordneten Rampengenerator erfolgt.

**[0012]** Die im Regelverfahren verwendete Regeldifferenz  $e$  ist definiert als Differenz zwischen dem Durchfluß-Sollwert  $W$  und dem Durchfluß-Istwert  $X$ , d. h.  $e = W - X$ . Ein negatives Vorzeichen der Regeldifferenz  $e$  bedeutet demnach, daß sich der Arbeitspunkt des Kompressors im sicheren Arbeitsbereich befindet, während ein positives Vorzeichen der Regeldifferenz  $e$  bedeutet, daß der Arbeitspunkt die Abblaselinie nach links, d. h. in Richtung auf die Pumpgrenze zu überschritten hat. Überschreitet der Arbeitspunkt die Pumpgrenze, kommt es zu einem Pumpen des Kompressors. Weichen diese Regeldifferenzen unzulässig voneinander ab, wird der Regler auf Nachführbetrieb geschaltet und sein Aus-

gang auf die aktuelle Abblase-Ventilstellung umgeschaltet. Hierdurch wird sichergestellt, daß die Stellgröße des Pumpgrenzreglers nicht wesentlich von der Stellung des Ventils abweicht.

**[0013]** Es sind Anwendungen bekannt, in denen die Stellung des Ventils nicht gemessen wird oder innerhalb der Regelung nicht zur Verfügung steht. Um auch in diesen Fällen ein "Auseinanderlaufen" von Reglerausgang und begrenzter Stellgröße zu verhindern, kann statt einer Rückmeldung der aktuellen Ventilstellung auch die begrenzte Stellgröße auf den Regler zurückgemeldet werden. Dieses führt letztendlich zu den gleichen Ergebnissen wie eine Rückmeldung der Ventilstellung.

**[0014]** Bei schnellen Prozeßstörungen wird das Verhalten des Pumpgrenzreglers im wesentlichen durch seine Proportionalverstärkung bestimmt. Je höher die Proportionalverstärkung gewählt ist, um so größer ist die Änderung des Reglerausgangssignals und damit der Stellung des Abblaseventiles. Ein weiter öffnendes Abblaseventil ist eher in der Lage, einen Kompressor vor Pumpen zu schützen als ein nur wenig öffnendes.

**[0015]** Die Proportionalverstärkung kann aber nicht beliebig groß gewählt werden, da dies zu Instabilitäten des Regelkreises führt. Ursache für diese Instabilitäten sind unvermeidbare Verzögerungen in der Regelstrecke.

**[0016]** Es stellt sich daher die Aufgabe, ein Verfahren der gattungsgemäßen Art derart weiterzubilden, um das Regelverhalten eines Turbokompressors dadurch zu verbessern, daß die Proportionalverstärkung deutlich angehoben werden kann, ohne daß der Regelkreis instabil wird bzw. zu Schwingungen des Regelorgans (Abblaseventil) neigt.

**[0017]** Die Lösung der Aufgabe erfolgt in der Weise, wie es im Hauptanspruch angegeben ist, die Unteransprüche 2 - 6 stellen vorteilhafte Verfahrensschritte dar, die Ansprüche 7 - 11 kennzeichnen die erfindungsgemäßen Merkmale der Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

**[0018]** Durch eine Unsymmetrie für das Stellverhalten des Abblaseventiles wird ein langsames Schließen und schnelles Öffnen des Abblaseventiles erreicht.

**[0019]** Das Stabilitätsverhalten vom Pumpgrenzregelkreisen läßt sich erfindungsgemäß dadurch positiv beeinflussen, daß eine elektronische Begrenzung der Schließgeschwindigkeit des Abblaseventiles vorgenommen wird. Infolgedessen können Pumpgrenzregler mit deutlich höherer Proportionalverstärkung stabil betrieben werden. Hierzu wird in den Ausgang des Pumpgrenzreglers ein elektronischer Gradientenbegrenzer eingefügt. Dieser Gradientenbegrenzer ist asymmetrisch aufgebaut, d. h. in öffnungsrichtung des Abblaseventils ist keinerlei zeitliche Begrenzung wirksam, in Schließrichtung wird jedoch eine frei parametrierbare zeitliche Begrenzung des Schließvorganges des Abblaseventiles vorgesehen bzw. programmiert. Beste praktische Ergebnisse haben sich mit Öffnungszeiten von 1 Sekunde und Schließzeiten von mehr als 5 Minuten er-

geben. Mit dieser Realisierung lassen sich durchaus Schließzeiten von 10 Minuten oder mehr einstellen.

**[0020]** Eine Pumpgrenzregelung mit einer solchen Gradientenbegrenzung ist weitgehend unabhängig gegenüber sehr hoch eingestellten Reglerverstärkungen. Eine sehr hoch gewählte Reglerverstärkung führt zwangsläufig dazu, daß der Reglerkreis instabil wird. Ohne diese Begrenzung würde der Reglerausgang und damit die Ventilstellung schwingen. Mit dieser Begrenzung im Reglerausgang würde sich diese Schwingung jedoch auf die erste Halbwelle beschränken, d. h., die zu hohe Verstärkung würde zwar das Abblaseventil weiter als ein optimal eingestellter Regler öffnen, der anschließende schnelle Schließvorgang würde jedoch unterbleiben, und das Ventil würde nur mit dem eingestellten Gradienten, d. h. langsam, schließen.

**[0021]** In der Praxis wird die Zeit, die erforderlich ist, um das Abblaseventil in die gewünschte Zielposition zu fahren, ausreichen, um die Prozeßstörung, welche den Reglerausschlag bewirkt hat, zum Abklingen zu bringen. Sollte dies nicht der Fall sein, kann es zu einem erneuten Eingreifen des Reglers in Richtung Ventilöffnung kommen. Dieses führt dann dazu, daß das Ventil erneut eine heftige Öffnungsbewegung ausführt und sich der zuvor beschriebene Vorgang nochmals wiederholt. In den meisten Fällen ist die Störung nach einigen Reglerausschlägen abgeklungen. Als Freiheitsgrad steht hier der frei einstellbare Gradient in Schließrichtung des Ventils zur Verfügung, der derart gewählt werden kann, daß diese Forderung erfüllt wird.

**[0022]** Bei zu hoch eingestellter Proportionalverstärkung und falsch gewähltem Gradienten kann dies dazu führen, daß ein Abgleich unterbleibt und sich der beschriebene Vorgang periodisch wiederholt. Ohne die erfindungsgemäße Erweiterung führt ein solcher Vorgang zu sehr heftigen Dauerschwingungen von z. B. 1 - 3 Sek. Periodendauer und großer Amplitude. Wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren z. B. eine Schließzeit von 10 Min. gewählt, und das Abblaseventil führt während des instabilen Vorgangs einen Hub von 10 % durch, dann bedeutet dies, daß die Periodendauer auf 1 Min. vergrößert wird. Eine solche Instabilität, die zudem noch sägezahnförmig abläuft, ist prozeßtechnisch wesentlich eher akzeptabel als eine 1 - 3 Sekundenschwingung mit deutlich größeren Ventilausschlägen.

**[0023]** Der Hauptvorteil der Erfindung liegt darin, daß deutlich größere Proportionalverstärkungen wählbar sind. Dadurch greift der Pumpgrenzregler bei einer Prozeßstörung deutlich kräftiger ein und schützt den Kompressor wesentlich besser vor Pumpen.

**[0024]** Den Stellgrößenbegrenzer hat man sich als Funktionsblock vorzustellen, dessen Ausgang im stationären Betriebsfall stets gleich seinem Eingang ist. Dies gilt auch für dynamische Vorgänge in Richtung Ventilöffnung. Stellbefehle in Schließrichtung werden ebenfalls unbeeinflusst vom Eingang auf den Ausgang durchgeschaltet, solange der Gradient für die Stellgrößenänderung kleiner ist als der eingestellte Grenzwert. Erfolgt

diese Änderung des Einganges mit einem steileren Gradienten, ändert sich die Ausgangsgröße mit dem als Parameter eingestellten Gradienten solange, bis der Gradient des Eingangs kleiner ist als die eingestellte Grenze.

**[0025]** In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann der Gradient umschaltbar gemacht werden. Dies wird erforderlich, wenn in einem größeren Abstand des Arbeitspunktes von der Pumpgrenze eine schnellere Schließgeschwindigkeit zugelassen wird und in der Nähe der Pumpgrenze auf eine langsamere Geschwindigkeit umgeschaltet wird. Dieser Fall tritt ein, wenn sich der Arbeitspunkt beispielsweise mehr als 20 % entfernt von der Abblaselinie befindet, dann kann das Ventil mit einer Stellzeit von z. B. 20 Sekunden oder sogar 1 Sekunde für den gesamten Hub schließen; nähert sich der Arbeitspunkt jedoch dichter der Abblaselinie und unterschreitet die 20-%-Grenze, dann wird beispielsweise auf eine Stellzeit von 5 Min. für den gesamten Hub umgeschaltet.

**[0026]** Erfindungsgemäß sind auch mehrere Schaltstufen möglich oder es kann auch ein stetig veränderbarer Grenzwert für den Gradienten gewählt werden, der eine Funktion von der Regeldifferenz, dem Abstand zwischen Arbeitspunkt und Abblaselinie, ist.

**[0027]** Die Erfindung wird anhand von schematischen Ausführungsbeispielen näher erläutert.

**[0028]** Es zeigen:

Fig. 1 ein Schaltschema zur Vermeidung von Reglerinstabilitäten,

Fig. 2 ein Schaltbild des elektronischen Gradientenbegrenzers.

**[0029]** Entsprechend Fig. 1 ist der Turboverdichter (1) ansaugseitig mit einer Ansaugleitung (10) verbunden. Abgabeseitig ist der Turboverdichter (1) mit einer Abgabeleitung (11) verbunden, die über eine Rückschlagklappe (12) das von dem Turboverdichter (1) verdichtete Medium zu einem nachgeschalteten Prozeß leitet. Vor der Rückschlagklappe (12) zweigt von der Abgabeleitung (11) eine Abblaseleitung (20) ab, in welche ein Abblaseventil (2) mit Schalldämpfer (3) mit einer pneumatischen oder hydraulischen Betätigungseinrichtung (21) eingeschaltet ist, die mit einer Steuerleitung (22) verbunden ist.

**[0030]** Ansaugseitig wird mittels eines mit der Ansaugleitung (10) verbundenen Durchflußmessers (31) der zum Verdichter (1) strömende Durchfluß des zu verdichtenden Mediums erfaßt. Mittels eines mit der Abgabeleitung (11) verbundenen Druckmessers (32) ist der Verdichterenddruck erfaßbar. Dem Druckmesser (32) ist ein Funktionsgeber (33) nachgeschaltet, der anhand von gespeicherten Daten den jeweils einem bestimmten Druck zugeordneten, gerade noch zulässigen Minimaldurchflußwert für den Verdichter (1) ausgibt. Der vom Durchflußmesser (31) aktuell gemessene Durchfluß-

Istwert und der vom Funktionsgeber (32) ausgegebene Durchfluß-Sollwert werden einem Subtrahierer (34) zugeführt, in welchem die Differenz aus diesen durch Subtrahieren des Istwertes vom Sollwert gebildet wird.

5 **[0031]** Der in dem Subtrahierer (34) erzeugte Regelparameter wird auf einen Pumpgrenzregler (41) gegeben, der dem Subtrahierer (34) nachgeschaltet ist.

**[0032]** Der Pumpgrenzregler (41) sorgt für eine kontinuierliche Regelung, d. h. eine exakte Verstellung des Abblaseventiles (2) in Abhängigkeit von der Lage des Arbeitspunktes im Kennfeld. Hierzu wirkt der Ausgang des Pumpgrenzreglers (41) über einem Gradientenbegrenzer (50) und über eine Steuerleitung (22) auf die Betätigungseinrichtung (21) des Abblaseventiles (2).

10 **[0033]** Von der Betätigungseinrichtung (21) mit einem Stellungsregler führt eine Druckmedienversorgung (23) zu einer nicht eigens dargestellten Kolben-Zylinder-Einheit oder Membran-Einheit für die Erzeugung der Kraft für die Verstellbewegung des Abblaseventiles (2) in Schließ- und Öffnungsrichtung. Die Kraft für die Verstellbewegung des Abblaseventiles (2) in Öffnungsrichtung wird aus Sicherheitsgründen allgemein mittels eines Kraftspeicherelementes, z. B. einer gespannten Feder erzeugt, um bei Ausfall der Regelung ein selbsttätiges öffnen des Abblaseventiles (2) sicherzustellen.

20 **[0034]** Der Ausgang der Steuerleitung (22) wirkt auf eine pneumatische bzw. hydraulische Betätigungseinrichtung (21). Hierdurch wird das Abblaseventil (2) bei einer Prozeßstörung durch Absenken des Steuersignals in Öffnungsrichtung verstellt, bis der Verdichter-Arbeitspunkt in den sicheren Kennfeldbereich wieder zurückgesetzt wird mit nur von der konstruktiven Gestaltung von Ventil (2) und Antrieb (21) abhängigen Stellgeschwindigkeit.

30 **[0035]** Sollte der Pumpgrenzregler (41) dabei zu heftig reagieren und das Abblaseventil (2) zu weit geöffnet haben, steigt das Ausgangssignal des Pumpgrenzreglers (41) wieder an. Der Gradientenbegrenzer (50) begrenzt den Anstieg des Steuersignals (22) auf den eingestellten Grenzwert und bewirkt damit eine zeitverzögerte Schließung des Abblaseventiles (2) aus der zuletzt erreichten Stellung.

40 **[0036]** Um zu verhindern, daß das Ausgangssignal des Pumpgrenzreglers (41) bei einem Eingriff des Gradientenbegrenzers (50) der Stellung des Ventils (2) unzulässig vorseilt, wird die Stellung des Ventiles (2) über die Rückführleitung (60) an den Pumpgrenzregler (41) zurückgeführt. Der Pumpgrenzregler (41) begrenzt nunmehr intern seine Ausgangsgröße durch Nachführen auf die Ventilstellung. Bei fehlender Positionsmessung am Ventil (2) kann auch das Steuersignal (22) auf den Pumpgrenzregler (41) rückgeführt werden.

50 **[0037]** Der erfindungsgemäße, elektronische Gradientenbegrenzer (50) ist im Detail in Fig. 2 dargestellt. Er besteht aus dem Signaleingangsbaustein, einem Stellfaktor oder Gain (51), einem Begrenzer (52) sowie einem Integrierer (53). Von der Steuerleitung (22) zweigt nach dem Integrierer (53) eine Rückkoppelungs-

leitung (54) ab, die direkt mit dem Stellfaktor oder Gain (51) verbunden ist. Die Grenzwerte für die Gradienten werden als oberer und unterer Grenzwert des Begrenzers (52) eingestellt.

**[0038]** Für den Gradientenbegrenzer (50) und den Pumpgrenzregler (41) können vorteilhaft an sich bekannte Komponenten verwendet werden, so daß die Durchführung des Verfahrens und die Herstellung einer hierfür geeigneten Vorrichtung vergleichsweise einfach und kostengünstig sind.

Bezugsziffernliste:

**[0039]**

1	Turboverdichter	5
2	Abblaseventil	
3	Schalldämpfer	
10	Ansaugleitung	10
11	Abgabelitung	
12	Rückschlagklappe	
20	Abblaseleitung	20
21	pneumatische/hydraulische Betätigungseinrichtung	25
22	Steuerleitung	
23	Druckmedienleitung	
31	Durchflußmesser	30
32	Druckmesser	
33	Funktionsgeber (Durchfluß-Sollwert)	
34	Subtrahierer	
41	Pumpgrenzregler	35
50	Gradientenbegrenzer	
51	Stellfaktor/Gain	
52	Begrenzer	
53	Integrierer	40
54	Rückkoppelung	
60	Rückführung der Ventilposition	

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Betreiben von Strömungsmaschinen zur Vermeidung von Reglerinstabilitäten an Pumpgrenzregelungen mit hoher Proportionalverstärkung des Reglers mittels Abblasens über ein Abblaseventil, wobei in dem Verfahren aus Meßwerten zumindest für den Verdichterdurchfluß und Verdichterdenddruck sowie aus vorgegebenen bzw. vorgebbaren Sollwerten ein Regelparameter bestimmt wird, anhand dessen durch einen Pumpgrenzregler eine sofortige Öffnung des Abblaseventiles mittels einer pneumatischen oder hydraulischen Betätigungseinrichtung über ein Druckmedium erfolgt,

wobei in Öffnungsrichtung des Abblaseventiles (2) keine zeitliche Begrenzung wirksam ist, in Schließrichtung jedoch eine frei parametrierbare zeitliche Begrenzung des Schließvorganges des Abblaseventiles (2) vorgesehen bzw. einprogrammiert wird, **dadurch gekennzeichnet, daß** durch einen asymmetrisch aufgebauten Gradientenbegrenzer sowohl die Begrenzung der Schließgeschwindigkeit des Abblaseventiles (2) elektronisch (50) vorgenommen wird als auch die Öffnung des Abblaseventiles (2) bewirkt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** durch einen umschaltbaren Gradientenbegrenzer (50) bei einem größeren Abstand des Arbeitspunktes von der Pumpgrenze eine schnellere Schließgeschwindigkeit zugelassen und in der Nähe der Pumpgrenze eine langsamere Schließgeschwindigkeit des Abblaseventiles (2) erreicht wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** durch einen Gradientenbegrenzer (50) mit mehreren Schaltstufen die Schließgeschwindigkeit bei Annäherung des Arbeitspunktes an die Abblaselinie schrittweise reduziert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** durch einen stetig veränderbaren Grenzwert des Gradienten bei Annäherung des Arbeitspunktes an die Abblaselinie die Schließgeschwindigkeit des Abblaseventiles (2) stetig reduziert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Stellung des Abblaseventiles (2) auf den Pumpgrenzregler (41) rückgekoppelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Signal der Steuerleitung (22) auf den Pumpgrenzregler (41) rückgekoppelt wird.

7. Vorrichtung zum Betreiben von Strömungsmaschinen zur Vermeidung von Reglerinstabilitäten an Pumpgrenzregelungen mit hoher Proportionalverstärkung des Reglers bestehend aus einem Pumpgrenzregler (41) für die Verstellung eines Abblaseventiles (2) über ein Druckmedium mittels einer pneumatischen oder hydraulischen Betätigungseinrichtung (21) mit einem Stellungsregler mit einer Kolben-Zylinder-Einheit bzw. einer Membran-Zylinder-Einheit und aus einer Steuerungsleitung (22) für eine bedarfsweise Betätigung des Abblaseventiles (2) in Öffnungsrichtung ohne zeitliche Begrenzung und in Schließrichtung mit einer frei paramet-

trierbaren zeitlichen Begrenzung des Schließvorganges, **dadurch gekennzeichnet, daß** zwischen dem Pumpgrenzregler (41) und der Steuerleitung (22) ein elektronischer asymmetrisch aufgebauter Gradientenbegrenzer (50) zwischengeschaltet ist. 5

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Gradientenbegrenzer (50) aus einem Stellfaktor (51), Begrenzer (52) und Integrierer (53) besteht. 10
9. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** nach dem Integrierer (53) eine Rückkoppelung (54) zu dem Stellfaktor (51) abzweigt. 15
10. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** zwischen der pneumatischen/hydraulischen Betätigungseinrichtung (21) des Abblaseventiles (2) und dem Pumpgrenzregler (41) eine Rückführung (60) für Anzeige der Ventilposition angeordnet ist. 20
11. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Steuerleitung (22) über die pneumatische/hydraulische Betätigungseinrichtung (21) mit der Rückführung (60) gekoppelt ist. 25

## Claims

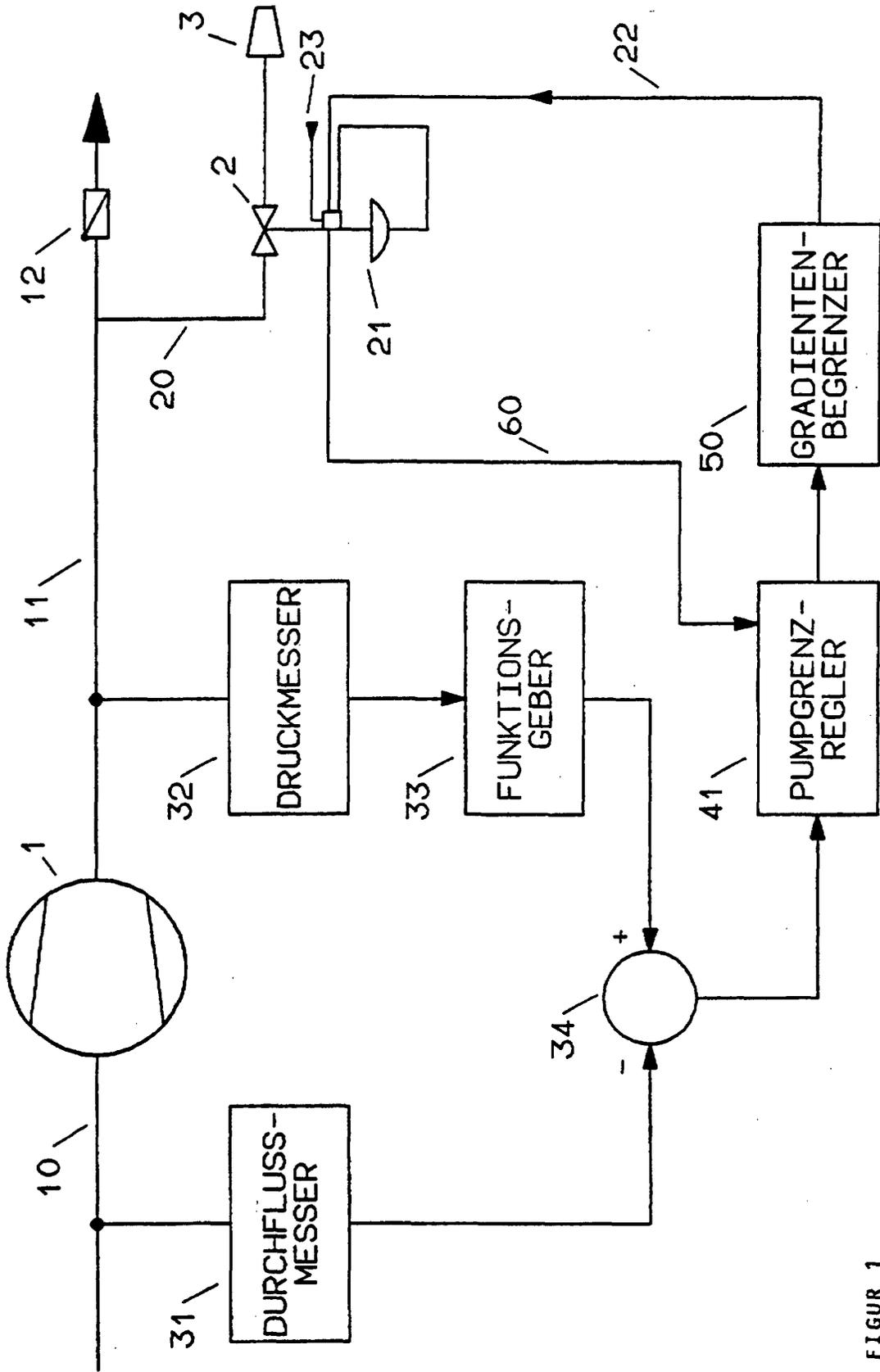
1. Method of operating a turbo-compressor for the avoidance of regulator instabilities of surge limiting regulations with high proportional amplification of the regulator by means of blowing-off by way of a relief valve, wherein in the method a regulating parameter is determined from measurement values at least for the compressor throughflow and compressor final pressure as well as from predetermined or predeterminable target values and on the basis of this parameter an immediate opening of the relief valve is carried out by a surge limiting regulator by means of a pneumatic or hydraulic actuating device via a pressure medium, wherein no time limitation is effective in the opening direction of the relief valve (2), but a freely parameterisable time limitation of the closing process of the relief valve (2) is provided or programmed-in in the closing direction, **characterised in that** not only the limitation of the closing speed of the relief valve (2) is electronically (50) undertaken, but also the opening of the relief valve (2) is caused by an asymmetrically formed gradient limiter. 30
2. Method according to claim 1, **characterised in that** a faster closing speed of the relief valve (2) is allowed for a greater spacing of the working point from the surge limit, and a slower closing speed of the relief valve (2) is achieved in the proximity of the surge limit, by a gradient limiter (50) which can be switched over. 35
3. Method according to claim 1 and 2, **characterised in that** the closing speed on approach of the working point to the blow-off line is reduced in steps by a gradient limiter (50) with several switching stages. 40
4. Method according to claim 1 and 2, **characterised in that** on approach of the working point to the blow-off line the closing speed of the relief valve (2) is constantly reduced by a constantly variable limit value of the gradient. 45
5. Method according to claim 1, **characterised in that** the setting of the relief valve (2) is fed back to the surge limiting regulator (41). 50
6. Method according to claim 1, **characterised in that** the signal of the control line (22) is fed back to the surge limiting regulator (41). 55
7. Device for operating turbo-compressors for the avoidance of regulator instabilities of surge limiting regulations with high proportional amplification of the regulator, consisting of a surge limiting regulator (41) for adjustment of a relief valve (2) via a pressure medium by means of a pneumatic or hydraulic actuating device (21) with a setting regulator with a piston-cylinder unit or a diaphragm-cylinder unit and further consisting of a control line (22) for an actuation, in case of need, of the relief valve (2) in opening direction without time limitation and in closing direction with a freely parameterisable time limitation of the closing process, **characterised in that** an electronic, asymmetrically formed gradient limiter (50) is connected between the surge limiting regulator (41) and the control line (22).
8. Device according to claim 7, **characterised in that** the gradient limiter (50) consists of a setting factor (51), limiter (52) and integrator (53).
9. Device according to claim 7, **characterised in that** a feedback (54) to the setting factor (51) is branched off after the integrator (53).
10. Device according to claim 7, **characterised in that** a feedback line (60) for indication of the valve position is arranged between the surge limiting regulator (41) and the pneumatic/hydraulic actuating device (21) of the relief valve (2).
11. Device according to claim 7, **characterised in that** the control line (22) is coupled with the feedback

line (60) by way of the pneumatic/hydraulic actuating device (21).

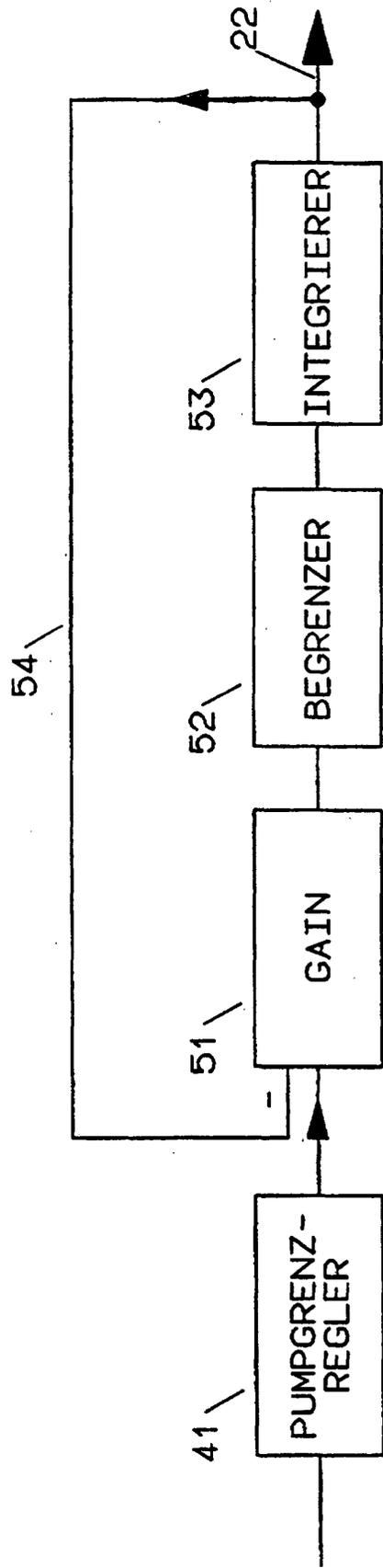
est asservie sur le régulateur de hauteur maximale d'aspiration.

## Revendications

1. Invention concernant un procédé permettant de faire fonctionner des turbomachines afin d'éviter les phénomènes d'instabilité de régulateur sur des régulations de seuil limite de pompage, à forte amplification proportionnelle du régulateur, par décharge par l'intermédiaire d'une soupape de décharge. Selon ledit procédé, un paramètre de réglage est déterminé sur la base de valeurs mesurées au moins pour le débit du compresseur et la pression finale dudit compresseur, ainsi que sur la base de valeurs théoriques prédéfinies ou pré-déterminables. Une ouverture immédiate de la soupape de décharge peut être effectuée par un régulateur de seuil limite de pompage, sur la base dudit paramètre de réglage, au moyen d'un dispositif d'actionnement pneumatique ou hydraulique, via un milieu de pression. Dans le sens d'ouverture de la soupape de décharge (2), aucune limitation temporelle n'est efficace, alors que dans le sens de fermeture, une limitation temporelle pouvant être paramétrée librement est prévue ou intégrée par programme. Ce procédé se **caractérise en ce qu'**un limiteur de gradients de structure asymétrique assure aussi bien la limitation de la vitesse de fermeture de la soupape de décharge électronique (50) par voie électronique, que l'ouverture de ladite soupape de décharge (2). 5
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**il est prévu un limiteur de gradient (50) commutable permettant d'atteindre une plus grande vitesse de fermeture, en cas d'écart plus important entre le point de fonctionnement dynamique et le seuil limite de pompage et de parvenir à une vitesse de fermeture plus réduite de la soupape de décharge (2), à proximité du seuil limite de pompage. 10
3. Procédé selon les revendications 1 et 2, **caractérisé en ce qu'**il est prévu un limiteur de gradient (50) à plusieurs étages de commutation, qui permet de réduire progressivement la vitesse de fermeture sur la ligne de décharge, à l'approche du point de fonctionnement dynamique. 15
4. Procédé selon les revendications 1 et 2, **caractérisé en ce qu'**une valeur-seuil du gradient, qui peut être modifiée en permanence, permet de réduire en continu la vitesse de fermeture de la soupape de décharge (2) sur la ligne de décharge, à l'approche du point de fonctionnement dynamique. 20
5. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la position de la soupape de décharge (2) est asservie sur le régulateur de hauteur maximale d'aspiration. 25
6. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le signal de la ligne de commande (22) est réinjecté dans le régulateur de seuil limite de pompage (41). 30
7. Invention concernant un dispositif permettant d'actionner des turbomachines afin d'éviter les phénomènes d'instabilité du régulateur sur des régulations de seuil limite de pompage, à forte amplification proportionnelle du régulateur. Ce dispositif comprend un régulateur de seuil limite de pompage (41) pour assurer le déplacement d'une soupape de décharge (2) par l'intermédiaire d'un milieu de pression, au moyen d'un dispositif d'actionnement (21) pneumatique ou hydraulique comportant un régulateur de position avec une unité piston-cylindre ou une unité membrane-cylindre. Ledit dispositif comprend également une ligne de commande (22) pour un actionnement facultatif de la soupape de décharge (2) dans le sens d'ouverture, sans limitation temporelle, et dans le sens de fermeture, avec une limitation temporelle pouvant être paramétrée librement du processus de fermeture. Ce dispositif se **caractérise en ce qu'**un limiteur de gradient (50) électronique de structure asymétrique est intercalé entre le régulateur de seuil limite de pompage (41) et la ligne de commande (22). 35
8. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** le limiteur de gradient (50) comporte un facteur d'ajustement (51), un limiteur (52) et un intégrateur (53). 40
9. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'**il intervient une rétroaction (54) après l'intégrateur (53), repartant en direction du coefficient d'ajustement (51). 45
10. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'**une ligne de retour (60) est disposée entre le dispositif d'actionnement (21) pneumatique/hydraulique de la soupape de décharge (2) et le régulateur de seuil limite de pompage (41), afin d'indiquer la position de la soupape. 50
11. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** la ligne de commande (22) est couplée à la ligne de retour (60), par l'intermédiaire du dispositif d'actionnement (21) pneumatique/hydraulique. 55



FIGUR 1



FIGUR 2