

①



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

⑪

Veröffentlichungsnummer: **0 223 207**
B1

⑫

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

④

Veröffentlichungstag der Patentschrift:
03.10.90

⑤

Int. Cl.⁵: **F04D 27/02**

⑥

Anmeldenummer: **86115791.5**

⑦

Anmeldetag: **13.11.86**

⑤

Einrichtung und Verfahren zum Regeln eines Turbokompressors zur Verhinderung des Pumpens.

③

Priorität: **13.11.85 DE 3540284**

④

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
27.05.87 Patentblatt 87/22

⑤

Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
03.10.90 Patentblatt 90/40

⑧

Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB IT LI NL

⑥

Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 056 341
US-A- 4 142 838

CONTROL ENGINEERING, Band 24, Nr. 10,
Oktober 1977, Seiten 63-65, New York, US; W.
FEHERVARI: "Asymmetric algorithm tightens
compressor surge control"

⑦

Patentinhaber: **MAN Gutehoffnungshütte**
Aktiengesellschaft,
Bahnhofstrasse 66 Postfach 11 02 40,
D-4200 Oberhausen 11(DE)

⑦

Erfinder: **Blotenberg, Wilfried, Dipl.-Ing., Irkensbusch 28,**
D-4220 Dinslaken(DE)

⑦

Vertreter: **Glawe, Delfs, Moll & Partner Patentanwälte,**
Postfach 26 01 62 Liebherrstrasse 20,
D-8000 München 26(DE)

EP 0 223 207 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt 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

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zum Regeln eines Turbokompressors, von der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Art. Eine Einrichtung dieser Art ist aus US-A 4 142 838 bekannt.

5 Als Pumpen bezeichnet man einen instabilen Zustand eines Turbokompressors, bei welchem Fördermedium stoßweise oder periodisch von der Druckseite zur Saugseite zurückströmt. Im Kennfeld des Kompressors kann eine Pumpgrenzlinie definiert werden, die den stabilen vom instabilen Bereich trennt. Zum Zwecke der Pumpgrenzregelung wird im Kennfeld eine Abblaselinie definiert, die in einem Sicherheitsabstand von der Pumpgrenzlinie verläuft. Der momentane Arbeitspunkt des Kompressors im Kennfeld wird erfaßt, und bei Annäherung des Arbeitspunktes an die Abblaselinie wird vom Regler ein an den Kompressoraustrag angeschlossenes Abblase- oder Umblaseventil mehr oder weniger geöffnet, um den Enddruck zu senken, bevor sich der Arbeitspunkt dem instabilen Bereich nähert. Bei schnellen Änderungen des Arbeitspunktes spricht diese Regelung aber nicht rasch genug an, so daß der Arbeitspunkt die Abblaselinie überschreiten und gegebenenfalls die Pumpgrenzlinie erreichen kann. Um dies zu verhindern ist vorgesehen, daß dann, wenn der Arbeitspunkt eine Sicherheitslinie überschreitet, die mit der Abblaselinie identisch sein oder zwischen dieser und der Pumpgrenzlinie liegen kann, ein zusätzliches Signal erzeugt wird, welches ein schnelles, vollständiges oder teilweises Öffnen des Abblaseventils steuert.

Bei der aus US-A 4 142 838 bekannten Einrichtung wird dieses zusätzliche Signal auf das Ausgangssignal des Reglers aufaddiert. Hierbei entsteht das Problem, daß dieses Korrektursignal nach dem Abklingen der Störung wieder unwirksam gemacht werden muß. Dies wird bei der bekannten Einrichtung dadurch erreicht, daß man das Korrektursignal nach einer Zeitfunktion abklingen läßt. Deren Zeitkonstante muß auf das Regelverhalten des Reglers abgestimmt sein, da das Abklingen des Korrektursignals eine Störung für den Regelkreis bedeutet, die vom Regler wieder korrigiert werden muß. Während dieser Abklingzeit befindet sich der Arbeitspunkt des Kompressors jenseits der Abblaselinie.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung der genannten Art so weiter zu bilden, daß mit einfachen Mitteln eine verzögerungsfreie Einwirkung des Korrektursignals auf das Abblaseventil erreicht wird, ohne daß besondere Maßnahmen zur nachträglichen Kompensation des Korrektursignals nötig sind, und ohne daß der Arbeitspunkt unnötig lange jenseits der Abblaselinie liegt.

30 Die Lösung der Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Die Unteransprüche beziehen sich auf vorteilhaftere weitere Ausgestaltungen.

Durch direkte Beaufschlagung des Integralteils des Reglers mit dem Korrektursignal wird dieses unverzögert auf den Regleraustrag weitergegeben, um eine Schnellöffnung des Abblaseventils zu bewirken. Dabei nimmt das Regleraustragssignal sofort mindestens annähernd den Wert an, den es nach Beendigung der Störung haben muß, d.h. eine längere Kompensationszeit, während der sich der Regler über das jenseits der Abblaselinie arbeitende Kompressorsystem auf den neuen Wert nachregeln muß, entfällt.

In einer alternativen Ausführungsform wird das Korrektursignal dem Integralteil als Steuersignal zugeführt und die Integrationszeitkonstante (Nachstellzeit) in Abhängigkeit von der Lage des Arbeitspunktes verändert. Auf diese Weise wird in kritischen Betriebssituationen ein schnelles Ansprechen des Reglers sichergestellt, da bei Überschreiten der Sicherheitslinie die Nachstellzeit des Reglers vermindert wird.

Ausführungsformen der Erfindung werden anhand der Zeichnungen näher erläutert.

45 Fig. 1 zeigt vereinfacht das Schema einer ersten Ausführungsform der Erfindung, in der das Korrektursignal dem Integralteil direkt zugeführt wird.

Fig. 2 zeigt eine alternative Ausführungsform, in der das Korrektursignal zur Veränderung der Nachstellzeit des Reglers dient.

Fig. 3-7 zeigen weitere Ausführungsbeispiele der Erfindung.

50 Das Ausgangssignal Y eines integral-proportionalen Reglers ist eine Funktion der Integrationszeitkonstanten (Nachstellzeit) T_N , der Proportionalverstärkung KP und der Regeldifferenz X_d :

$$55 \quad Y = KP \left(X_d + \frac{1}{T_N} \int_0^t X_d \, dt \right).$$

60 Bei gegebenen Werten von KP und T_N , bestimmt durch die Stabilitätsforderungen im gesamten Arbeitsbereich, verändert sich Y nur langsam, solange X_d kleine Werte annimmt.

Die Regeldifferenz X_d , d.h. der Abstand zwischen Arbeitspunkt und Abblaselinie, ist in der Nähe der Abblaselinie relativ klein und demzufolge erfolgt die Änderung des Regleraustragssignals Y nur langsam. Dies widerspricht aber der Forderung, daß beim Überschreiten der Abblaselinie der Regler schnell reagieren soll.

Gemäß der in Fig. 1 dargestellten ersten Ausführungsform der Erfindung wird deshalb beim Überschreiten der Abblaselinie eine Korrekturgröße auf den Integralteil des Reglers geschaltet, so daß sich der Ausgang des Reglers schnell verändert und das nachgeschaltete Abblaseventil entsprechend schnell auslöst.

Im Ansaugstutzen 1 eines Kompressors K wird durch Meßfühler 3, 5 die Druckdifferenz vor und hinter einer Drosselblende gemessen und daraus in einem Meßumformer 7 ein Ist-Wert für den saugseitigen Durchsatz V gebildet. Ein Meßfühler 9 mit Meßumformer 11 erfaßt den Enddruck P des Kompressors. Diese Ist-Werte werden einem Rechner 13 eingegeben, an den ein Speicher 15 angeschlossen ist, in welchem der Verlauf der Pumpgrenzlinie P und/oder einer im Sicherheitsabstand davon verlaufenden Abblaselinie A, bzw. einer zwischen den Linien P und A verlaufenden Sicherheitslinie gespeichert ist.

Der Rechner 13 bestimmt den Abstand des durch P und V definierten Arbeitspunktes von der Abblaselinie A und erzeugt entsprechend diesem Abstand ein Soll-Wert-Signal, welches in einem Differenzglied 17 mit dem Ist-Wert-Signal verglichen wird, um ein Eingangssignal für den Regler 10 zu bilden. Dieser umfaßt mindestens einen Proportionalteil 10a und einen Integralteil 10b und kann auch einen Differentialteil 10c aufweisen. Das Ausgangssignal des Reglers 10 steuert ein vom Kompressorausgang abzweigendes Abblaseventil 19.

Überschreitet der Arbeitspunkt die Abblaselinie A bzw. die oben erwähnte Sicherheitslinie, so erzeugt der Rechner 13 zusätzlich ein Signal, welches in einer Signalformerstufe 21 die Erzeugung eines Korrektursignals, z.B. in Form eines oder mehrerer Impulse auslöst, die als Eingangssignal in den Integralteil 10b des Reglers eingegeben werden. Hierdurch wird das das Abblaseventil 19 steuernde Ausgangssignal des Reglers schlagartig reduziert, um eine schnelle Öffnung des Abblaseventils 19 zu bewirken, wobei es sich je nach der Stärke des Korrektursignals um eine Teil- oder Vollöffnung handeln kann.

Es ist auch möglich, zwischen dem Signalformerglied 21 und dem Integralteil 10b ein Zeitkonstantenglied 23 mit einstellbarer Zeitkonstanten einzufügen, so daß die Änderung des Inhalts des Integratorteils 10b nicht schlagartig, sondern mit einer einstellbaren Zeitkonstanten erfolgt, die aber unabhängig von dem Zeitverhalten des Reglers 10 ist.

Der Signalformerteil 21 kann so ausgebildet sein, daß er das Korrektursignal solange erzeugt, wie der Arbeitspunkt links der Sicherheits- bzw. Abblaselinie liegt. Es ist aber auch möglich, daß die Signalformerstufe 21 einen Korrekturimpuls von definierter, einstellbarer Dauer erzeugt. Auch können mehrere Impulse hintereinander erzeugt werden, die eine Änderung des Integratorinhalts in mehreren Stufen von einstellbarer Höhe in einstellbaren Zeitabständen bewirken.

Ferner ist es möglich, die Größe des vom Signalumformer 21 erzeugten Korrektursignals oder den Abstand der Impulse oder die Zeitkonstante dt in Abhängigkeit vom Eingangssignal des Reglers zu steuern, wie dies durch die gestrichelte Linie der Zeichnung dargestellt ist. Damit kann der Einfluß des Korrektursignals nicht nur davon abhängig gemacht werden, ob die Sicherheitslinie überschritten wird, sondern auch davon, wie weit und/oder mit welcher Geschwindigkeit sie überschritten wird. Diese Beeinflussung kann insbesondere nicht linear erfolgen und auch auf Veränderungen mit nur einem Vorzeichen begrenzt sein.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung kann die Impulshöhe, die Impulsbreite, der Impulsabstand bzw. das Impuls-Pausenverhältnis und/oder die Zeitkonstante des Korrektursignals in Abhängigkeit von der Lage des Arbeitspunktes im Kennfeld variiert werden.

Bei der in Fig. 2 dargestellten alternativen Ausführungsform der Erfindung wird das Korrektursignal nicht dem Integralteil des Reglers zusätzlich aufgeschaltet, sondern es dient als Steuersignal zur Veränderung der Nachstellzeit T_N . Dabei wird die Nachstellzeit T_N entsprechend den Erfordernissen stets so angepaßt, daß sich immer eine optimale Verstellung des Reglerausgangssignals Y ergibt.

Die Anpassung der Nachstellzeit T_N erfolgt mittels einer Steuereinheit 25 und kann auf verschiedene Arten durchgeführt werden.

Im einfachsten Falle wird mit dem Erreichen einer Grenzlinie (Sicherheitslinie) in der Nähe der Abblaselinie auf eine kürzere Nachstellzeit umgeschaltet. Überschreitet der Arbeitspunkt diese Linie in entgegengesetzter Richtung (zum sicheren Kennfeldbereich hin), wird wieder auf die ursprüngliche Nachstellzeit zurückgeschaltet, wobei es unter Umständen erforderlich sein kann, für das Zurückschalten eine Hysterese vorzusehen.

Die Nachstellzeit kann auch in anderer Weise verändert werden, z.B. in mehreren Stufen oder kontinuierlich. Ganz allgemein ist die Nachstellzeit T_N eine Funktion der Regeldifferenz X_d

$$T_N = T_1 + f(X_d).$$

Für Regeldifferenzen im stabilen Arbeitsbereich soll dabei $f(X_d)$ Null sein, d.h. die Nachstellzeit ist in diesem Bereich konstant und hat den Wert T_1 . Im "gefährlichen Bereich" kann die Nachstellzeit entweder mit zunehmender Regeldifferenz abnehmen, um mit zunehmender Gefahr für den Kompressor die Wirkung der Pumpgrenzregelung zu verstärken, oder beim Überschreiten einer Grenze sprunghaft abnehmen und mit zunehmender Regeldifferenz wieder zunehmen, um den Regler bei zunehmender Regeldifferenz nicht unzulässig schnell zu gestalten. Ferner kann auch eine Kombination aus beiden Metho-

den angewandt werden, d.h. mit zunehmender Regeldifferenz nimmt die Nachstellzeit zunächst ab und oberhalb einer Grenze wieder zu.

In Fig. 2 ist ein Proportional- und Integralregler (PI-Regler) als Parallelschaltung aus einem Proportionalregler 10a und einem Integralregler 10b dargestellt. Jeder PI-Regler läßt sich derartig darstellen, auch wenn der Regler in einer anderen Form realisiert ist, z.B. als Softwarealgorithmus in einem Digitalregler.

Der variable Integralteil ist durch eine Steuereinheit 25 pauschal dargestellt. Dabei erfüllt die Steuereinheit 25 zwei Aufgaben:

1. Feststellung der Regeldifferenz und
2. Einstellen der Nachstellzeit gemäß der Formel $T_N = T_1 + f(X_d)$.

Zusätzlich kann in der Steuereinheit 25 noch ein Begrenzer vorgesehen sein, der bewirkt, daß die Nachstellzeit weder größer werden kann als die des stabil eingestellten Reglers, noch so klein werden kann, daß das Abblaseventil aufgrund seiner endlichen Stellgeschwindigkeit nicht mehr folgen kann. Selbstverständlich können die Verfahren auch bei anderen Regelalgorithmen mit zeitabhängigen Änderungen angewendet werden.

Zusammengefaßt gilt für das erfindungsgemäße Verfahren bzw. Einrichtung, daß mit dem Erreichen eines kritischen Betriebszustandes der integrale Term im Regler direkt und gesteuert verstellt wird. Dies erfolgt auf zwei verschiedene Arten:

- a) Der integrale Term wird direkt durch einen Steuereingriff geändert, d.h. der Ausdruck

$$I = K_p \frac{1}{T_N} \int_0^t X_d dt$$

ändert sich sprunghaft, bzw. in einer Rampe.

- b) Die schnelle Änderung des Reglerausgangs erfolgt durch eine Reduktion der Größe T_N .

Während bei a) steuernd auf das Integral eingewirkt wird, wird bei b) ein Reglerparameter verändert. Die technische Realisation kann dabei sowohl analog, als auch digital erfolgen:

a) Bei einem analogen Regler ist das zeitbestimmende Element ein Kondensator; der Wert I des Integrals entspricht der Spannung über dem Kondensator. Eine sprunghafte Änderung des Integralteils erfolgt durch schlagartiges Entladen des Kondensators um einen vorgegebenen Betrag.

Bei einem digitalen Regler liegt I als Zahlenwert vor, und die sprunghafte Änderung erfolgt durch einfache Addition oder Subtraktion. In digitalen Reglern wird häufig der sogenannte "rekursive Algorithmus" verwendet, bei dem der Reglerausgang zum Zeitpunkt t durch

$$y(t) = K_p \left[X_d(t) - X_d(t-T_s) + \frac{T_s}{T_H} X_d(t) \right] + y(t-T_s)$$

gegeben ist, wobei T_s die Abtastzeit des Reglers ist. Bei der sprunghaftigen Änderung wird ein zusätzlicher Term zu der obigen Gleichung addiert.

b) Die Veränderung der Zeitkonstanten kann im analogen Regler z.B. durch ein steuerbares elektrisches zeitbestimmendes Element (Widerstand, Kondensator) erfolgen, das mit dem Erreichen der Sicherheitsgrenze zu- bzw. weggeschaltet wird. Bei dem digitalen Regler wird wieder ein Zahlenwert geändert.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, K_p oder X_d zu verstärken. Wesentlich ist dabei, daß die Verstärkung nur im Integralterm wirksam wird.

In den Fig. 3 bis 7 sind weitere Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Regeleinrichtung dargestellt. Dabei ist nicht der gesamte Regelkreis wiedergegeben, sondern nur der Ausschnitt zwischen der Bildung der Regeldifferenz X_d (aus dem Sollwert W und dem Istwert X) und dem Reglerausgang y .

In Fig. 3 ist die Grenzwertstufe 27 auf den Abstand zwischen Abblase- und Sicherheitslinie eingestellt. Wird der Grenzwert erreicht, schaltet das Relais 29 auf die andere Zeitkonstante T_{N2} um.

Gemäß Fig. 4 wird die Zeitkonstante als Ausdruck T_N / X_d an das Eingangssignal des Reglers angepaßt. Der Begrenzer 31 stellt sicher, daß gewisse Grenzen weder über- noch unterschritten werden.

Bei der Anordnung nach Fig. 5 wird bei Erreichen der Schaltschwelle von T_{N1} auf T_{N2} umgeschaltet. Steigt die Regeldifferenz X_d weiter an, wird die wirksame Nachstellzeit T_N in Abhängigkeit vom Ausgang

des Funktionsgebers wieder größer. Alternativ kann auch die Nachstellzeit T_{N2} weggelassen werden; der Funktionsgeber wird dann so eingestellt, daß T_N zunächst abnimmt und dann wieder zunimmt.

Fig. 6 zeigt eine Anordnung, in der mit dem Überschreiten eines Grenzwertes die Grenzwertstufe 27 ein Impulsglied 35 ansteuert. Das Impulsglied 35 gibt dann einen größeren oder mehrere kleinere Impulse bzw. eine Rampe auf den Integrator 37.

Eine Anordnung, bei der statt einer Verkleinerung der Größe T_N eine Multiplikation des Terms

$$K_p \frac{1}{T_N} X_d$$

mit einer Konstanten K vorgesehen ist, ist in Fig. 7 dargestellt. Bei Erreichen des Grenzwertes steuert die Grenzwertstufe 27 ein Relais 41 an, das von $K = 1$ auf $K = C \gg 1$, d.h. auf einem wesentlich größeren Wert, umschaltet. Dies ist gleichbedeutend mit einer Verkleinerung von T_N .

Dem Relais 41 kann auch ein zeitlicher Begrenzer 39 nachgeschaltet sein, der dem Einfluß von c auf eine feste oder von einem anderen Parameter abhängige Zeitdauer begrenzt.

Während in den beschriebenen Ausführungsformen die Lage des Arbeitspunktes durch die Erfassung des Enddrucks und des Durchsatzes bestimmt wird, können für die Erfassung des Arbeitspunktes, bzw. die Definition des Kennfeldes in an sich bekannter Weise auch andere Größen wie das Druckverhältnis zwischen End- und Saugdruck, die Drehzahl, die Leitschaukelstellung, die Leistung, das Eingangssignal des Reglers 10 oder das Ausgangssignal eines Prozeßreglers herangezogen werden. Insbesondere kann das Kennfeld durch andere Parameter, wie z.B. die adiabate Förderhöhe (statt des Enddrucks) und den Ansaugvolumenstrom (anstelle der saugseitigen Druckdifferenz) bestimmt werden. In jedem Fall hat die Pumpgrenze einen eindeutigen Verlauf im Kennfeld, so daß auch die Abblase- und Sicherheitslinie in Bezug auf die Pumpgrenze eindeutig festlegbar sind.

Patentansprüche

1. Einrichtung zum Regeln eines Turbokompressors zur Verhinderung des Pumpens, mit Meßgebern zur Erfassung des Ist-Wertes einer oder mehrerer für den Arbeitspunkt des Kompressors charakteristischen Betriebsgrößen, insbesondere Enddruck und Durchsatz, Soll-Wert-Gebern mit vorgegebenem Verlauf mindestens einer Abblaselinie im Kompressorkennfeld, einem in Abhängigkeit von Ist- und Soll-Wert ein kontinuierliches Stellsignal für das Öffnen eines Abblaseventils erzeugenden Regler, der mindestens ein Proportionalteil und ein Integralteil und gegebenenfalls einen Differentialteil aufweist,

und einer bei Überschreiten der Abblaselinie oder einer Sicherheitslinie im Kennfeld ein Korrektursignal für das Schnellöffnen des Abblaseventils erzeugenden Einrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß das Korrektursignal dem Integralteil (10b) des Reglers (10) als Eingangssignal oder als ein die Nachstellzeit des Integralteils beeinflussendes Steuersignal zuführbar ist.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Korrektursignal dem Integralteil (10b) über ein Zeitkonstantenglied (23) mit einstellbarer Zeitkonstante zugeführt ist.

3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Korrektursignal solange ansteht, wie der Arbeitspunkt oberhalb der Abblase- bzw. Sicherheitslinie liegt.

4. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Korrektursignal eine vorgegebene, einstellbare Dauer hat.

5. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Korrektursignal eine Änderung des Inhalts des Integratorteils (10b) in mehreren Stufen von einstellbarer Höhe in einstellbaren Zeitabständen bewirkt.

6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Größe des Korrektursignals oder der Abstand der Korrekturimpulse oder die Zeitkonstante vom Eingangssignal des Reglers (10) abhängig ist.

7. Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch **gekennzeichnet**, daß das Korrektursignal nichtlinear vom Eingangssignal des Reglers (10) abhängt.

8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Größe des Korrektursignals, der zeitliche Verlauf der Impulsfolge, die Höhe der Einzelimpulse oder die Zeitkonstante von der Lage des Arbeitspunktes im Kennfeld abhängig ist.

9. Verfahren zum Regeln eines Turbokompressors zum Verhindern des Pumpens, wobei die Lage des Arbeitspunktes des Kompressors relativ zu einer im Kennfeld definierten Abblaselinie erfaßt und entsprechend der Annäherung des Arbeitspunktes an die Abblaselinie ein Abblase- oder Umblaseventil mittels eines Integralteils aufweisenden Reglers geregelt wird, und wobei bei Überschreiten der Abblaselinie oder einer ihr zugeordneten Sicherheitslinie ein zusätzliches Signal zum Schnellöffnen des Ventils erzeugt wird, dadurch **gekennzeichnet**, daß das zusätzliche Signal dem Integralteil des Reglers als Eingangssignal oder ein die Nachstellzeit des Integralteils beeinflussendes Steuersignal zugeführt und das Schnellöffnen des Ventils durch das Ausgangssignal des Reglers bewirkt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Nachstellzeit eine Funktion der Regeldifferenz ist, wenn der Arbeitspunkt sich oberhalb der Sicherheitslinie befindet.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Veränderung der Nachstellzeit im Bereich der Sicherheitslinie mit einer Hysterese erfolgt.

5 12. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch **gekennzeichnet**, daß die Nachstellzeit auf einen Bereich zwischen einem minimalen und einem maximalen Wert begrenzt ist.

Claims

- 10 1. An apparatus for controlling a turbocompressor to prevent surge, having sensors for determining the actual-value of one or more operating variables characteristic of the working point of the compressor, in particular final pressure and flow rate, sensors with predetermined desired-value characteristics of at least one blow-off curve in the compressor performance graph,
- 15 a controller which, in response to the actual value and desired value, generates a continuous control signal for the opening of a blow-off valve and which has at least one proportional part and an integral part and, optionally, a differential part,
- 20 and a device generating a correction signal for the rapid opening of the blow-off valve when the blow-off curve or a safety curve in the performance graph is exceeded, characterised in that the correction signal can be fed to the integral part (10b) of the controller (10) as an input signal or as a control signal affecting the resetting time of the integral part.
2. An apparatus according to Claim 1, characterised in that the correction signal is fed to the integral part (10b) via a time constant element (23) with adjustable time constant.
3. An apparatus according to Claim 1 or 2, characterised in that the correction signal continues as long as the working point lies above the blow-off curve or safety curve.
- 25 4. An apparatus according to Claim 1 or 2, characterised in that the correction signal has a predetermined adjustable duration.
5. An apparatus according to Claim 1, characterised in that the correction signal effects a variation in the content of the integral [sic] part (10b) in a plurality of stages of adjustable magnitude in adjustable time intervals.
- 30 6. An apparatus according to any one of Claims 1 to 5, characterised in that the magnitude of the correction signal or the interval between the correction pulses or the time constant is dependent on the input signal of the controller (10).
7. An apparatus according to Claim 6, characterised in that the correction signal is dependent in non-linear manner on the input signal of the controller (10).
- 35 8. An apparatus according to any one of Claims 1 to 5, characterised in that the magnitude of the correction signal, the time characteristic of the pulse train, the height of the individual pulses or the time constant is dependent on the position of the working point in the performance graph.
9. A method of controlling a turbocompressor to prevent surge, wherein the position of the working point of the compressor is determined relative to a blow-off curve defined in the performance graph and, according to the proximity of the working point to the blow-off curve, a blow-off or blow-down valve is controlled by means of a controller having an integral part, and wherein when the blow-off curve or a safety curve associated therewith is exceeded an additional signal is generated for the rapid opening of the valve, characterised in that the additional signal is fed to the integral part of the controller as an input signal or a control signal affecting the resetting time of the integral part, and the rapid opening of the valve is effected by the output signal of the controller.
- 40 10. A method according to Claim 9, characterised in that the resetting time is a function of the control difference when the working point is situated above the safety curve.
11. A method according to Claim 9 or 10, characterised in that the variation in the resetting time is effected by the hysteresis in the vicinity of the safety curve.
- 50 12. A method according to Claim 9, characterised in that the resetting time is limited to a zone between a minimum and a maximum value.

Revendications

- 55 1. Dispositif de réglage d'un turbocompresseur pour empêcher le pompage, comportant des capteurs pour déterminer la valeur réelle d'une ou plusieurs grandeurs de fonctionnement caractéristiques du point de fonctionnement du compresseur, notamment la pression à la sortie et le débit, des transmetteurs de valeur de consigne donnant le tracé prédéterminé d'au moins une ligne de purge dans le champ de caractéristiques du compresseur, un régulateur produisant en fonction de la valeur réelle et de la valeur de consigne un signal de manoeuvre continu pour l'ouverture d'une soupape de purge, ce régulateur comportant au moins une partie proportionnelle et une partie intégrale ainsi que, le cas échéant, une partie différentielle, ainsi qu'un dispositif produisant un signal de correction pour l'ouverture rapide de la soupape de purge lors du franchissement de la ligne de purge ou d'une ligne de sécurité dans le champ de caractéristiques, caractérisé en ce que le signal de correction peut être envoyé à la partie intégrale
- 60
- 65

(10b) du régulateur (10) en tant que signal d'entrée ou en tant que signal de commande agissant sur le temps de compensation de la partie intégrale.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le signal de correction est envoyé à la partie intégrale (10b) par l'intermédiaire d'un organe de temporisation (23) à constante de temps réglable.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le signal de correction est appliqué tant que le point de fonctionnement est au-dessus de la ligne de purge ou de la ligne de sécurité.

4. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le signal de correction a une durée prédéterminée, réglable.

5. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le signal de correction provoque une variation du contenu de la partie intégrale (10b) en plusieurs étages de hauteur réglable à des intervalles de temps réglables.

6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la grandeur du signal de correction ou l'intervalle des impulsions de correction ou encore la constante de temps dépendent du signal d'entrée du régulateur (10).

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que le signal de correction est une fonction non linéaire du signal d'entrée du régulateur (10).

8. Dispositif suivant l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la grandeur du signal de correction, le tracé en fonction du temps de la suite d'impulsions, la hauteur des impulsions individuelles ou la constante de temps dépendent de la position du point de fonctionnement dans le champ de caractéristiques.

9. Procédé de réglage d'un turbocompresseur pour empêcher le pompage, dans lequel on détermine la position du point de fonctionnement du compresseur par rapport à une ligne de purge définie dans le champ de caractéristiques et on règle une soupape de purge ou de soufflage en fonction de l'approche du point de fonctionnement par rapport à la ligne de purge au moyen d'un régulateur comportant une partie intégrale, un signal supplémentaire pour l'ouverture rapide de la soupape étant produit lors du franchissement de la ligne de purge ou d'une ligne de sécurité qui lui est associée, caractérisé en ce que le signal supplémentaire est envoyé à la partie intégrale du régulateur en tant que signal d'entrée ou en tant que signal de commande agissant sur le temps de compensation de la partie intégrale et en ce que l'ouverture rapide de la soupape est provoquée par le signal de sortie du régulateur.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que le temps de compensation est une fonction de l'écart de réglage si le point de fonctionnement se trouve au-dessus de la ligne de sécurité.

11. Procédé selon la revendication 9 ou 10, caractérisé en ce que la variation du temps de compensation au voisinage de la ligne de sécurité a lieu avec une hystérésis.

12. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que le temps de compensation est limité à un domaine compris entre une valeur minimale et une valeur maximale.

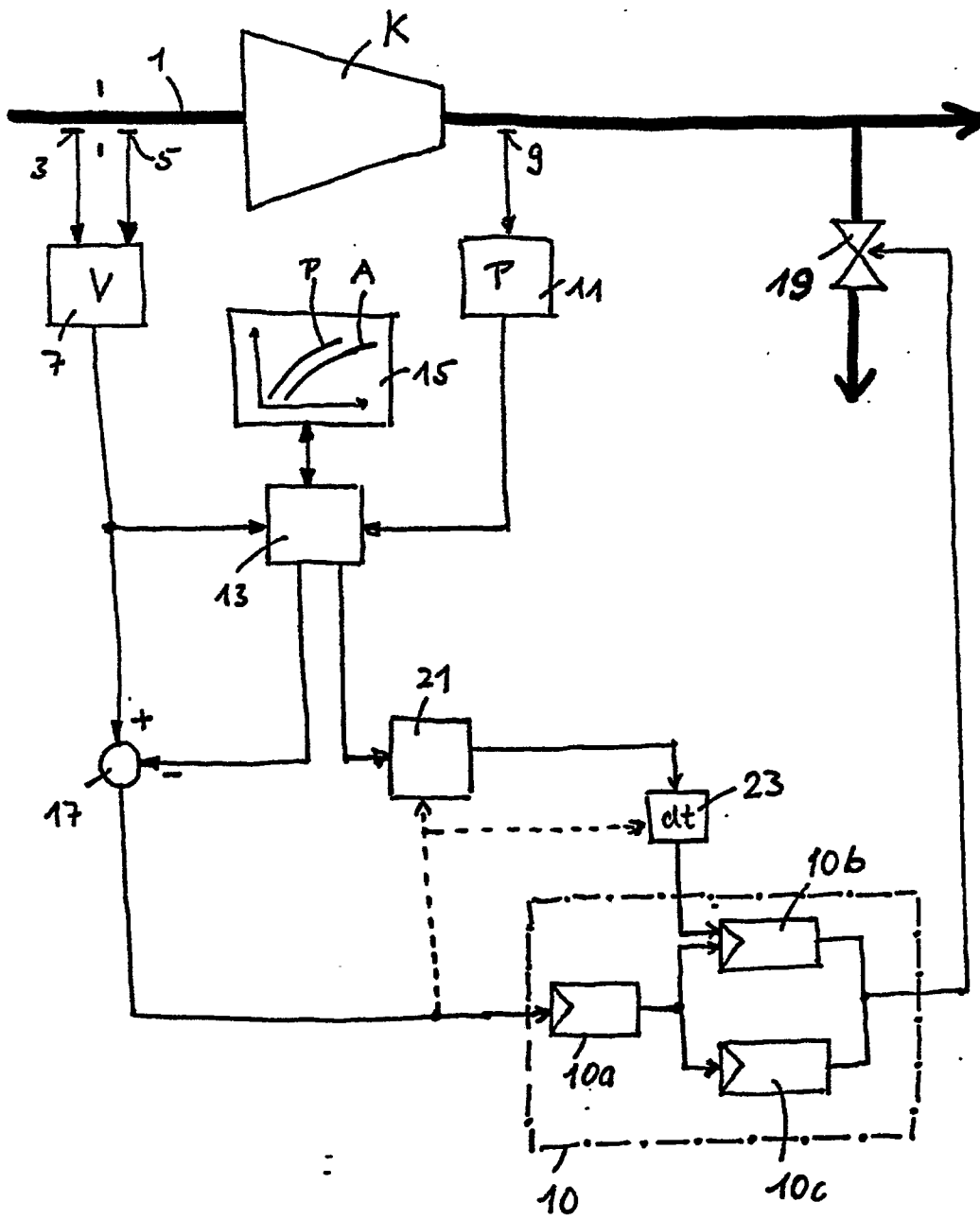


Fig. 1

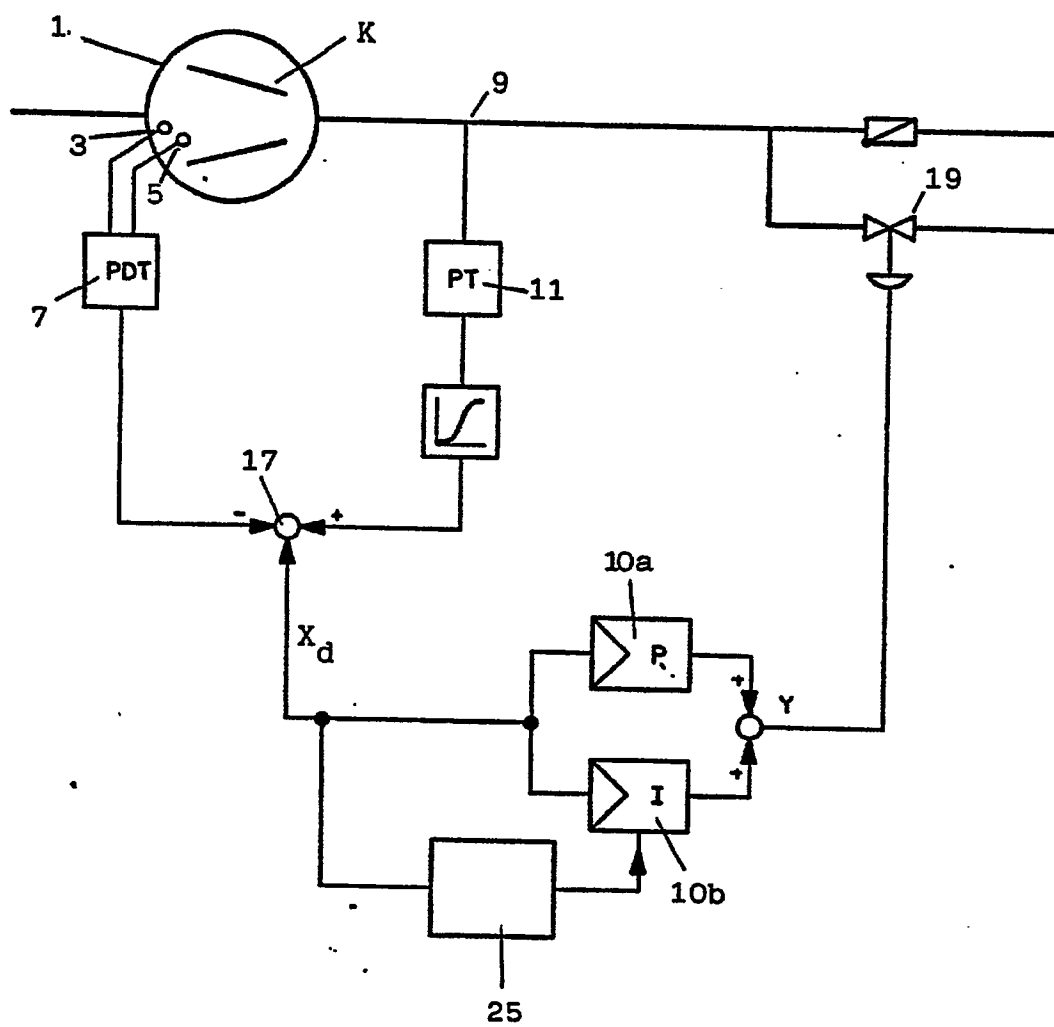


Fig. 2

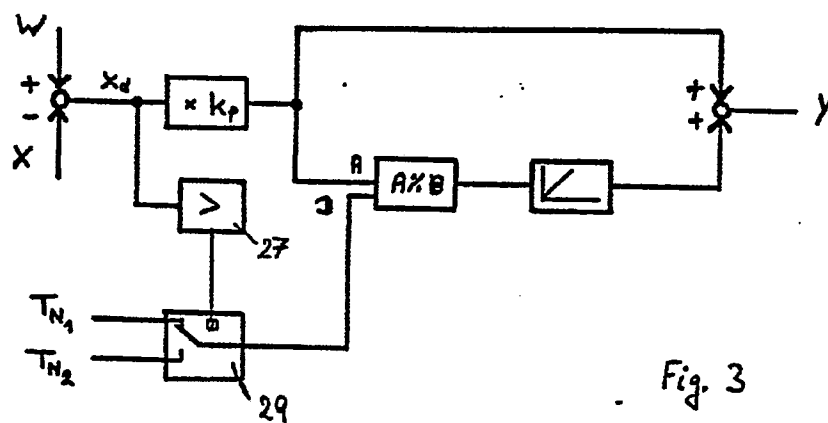


Fig. 3

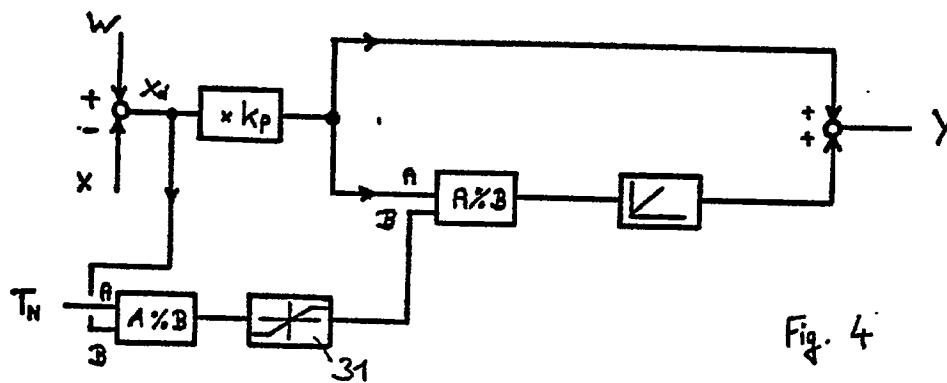


Fig. 4

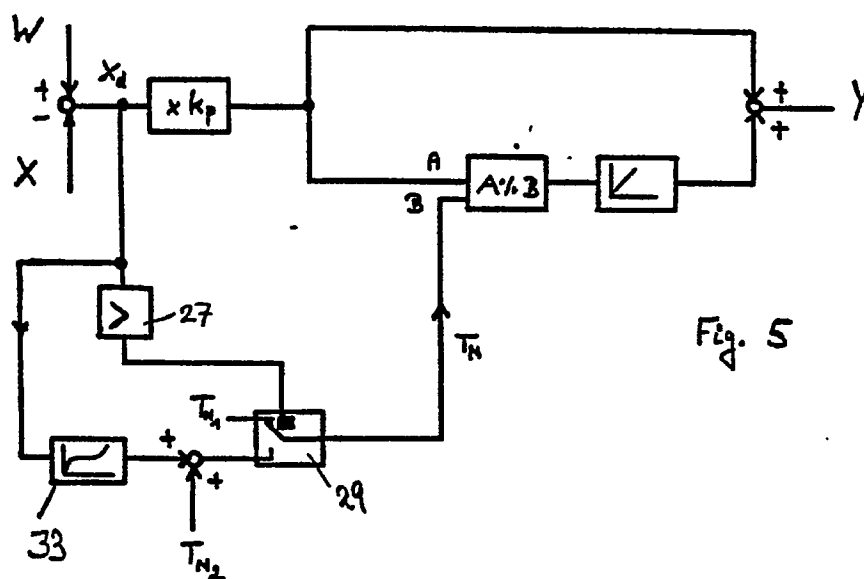


Fig. 5

