CH 621 855 A5

(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(51) Int. Cl.³: F 04 D 27/02
C 21 B 7/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT A5

(11) 621 855

(21) Gesuchsnummer: 5650/77

(22) Anmeldungsdatum: 05.05.1977

(30) Priorität(en): 28.05.1976 DE 2623899

(24) Patent erteilt: 27.02.1981

(45) Patentschrift veröffentlicht: 27.02.1981

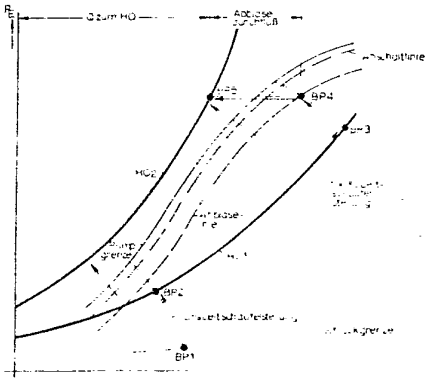
(73) Inhaber:
Gutehoffnungshütte Sterkrade Aktiengesellschaft, Oberhausen (DE)
Siemens Aktiengesellschaft, Berlin und München, München 2 (DE)

(72) Erfinder:
Dipl.-Ing. Klaus Dieter Küper, Hamminkeln-Mehrhoog (DE)
Dipl.-Ing. Rolf Albers, Bottrop (DE)
Dr. Luis Tuis, Bochum-Querenburg (DE)
Hans-Peter Hillebrand, Essen-Kettwig (DE)
Wolfgang Hofmeister, Karlsruhe 1 (DE)
Kurt Ewe, Karlsruhe (DE)

(74) Vertreter:
Dr. A.R. Egli & Co., Patentanwälte, Zürich

(54) Verfahren zum Regeln von Turbo-Verdichtern.

(57) Bei diesem Verfahren, mit kontinuierlicher Messung des Durchflusses und des Förderdruckes, wird zur Verhinderung des Pumpens durch Öffnen von Abblaseventilen dafür gesorgt, dass der Verdichter einen vom Förderdruck abhängigen Minimaldurchfluss nicht unterschreitet. Dieses Öffnen erfolgt nach Überschreiten einer zur Pumpgrenze parallelen Abblaselinie. Hiezu wird zuerst aus elektrischen Signalen, die dem Durchfluss und dem Förderdruck entsprechen, in einer Vergleichsstelle die Differenz gebildet, die für einen die Abblaseventile beeinflussenden Regler bestimmt ist. Ist wegen Überschreitens der Abblaselinie durch den Verdichter diese Differenz um einen bestimmten Mindestwert negativ, wird sie durch ein dem Regler vorgeschaltetes nichtlineares Übertragungsglied verstärkt, so dass auch die Wirkung des Reglers verstärkt wird. Dadurch werden die Abblaseventile verstärkt geöffnet, so dass der Betriebs-Punkt (BP) des Verdichters wieder in den zulässigen Bereich zurückgeführt wird.



POOR QUALITY

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Regeln von Turbo-Verdichtern, insbesondere Hochofenwindverdichtern, bei denen der Durchfluss und der Förderdruck kontinuierlich gemessen werden, wobei zur Verhinderung des Pumpens nach dem Überschreiten einer zur Pumpgrenze parallel verlaufenden Abblaselinie durch Öffnen von Abblaseventilen sichergestellt wird, dass der Verdichterdurchfluss einen vom Förderdruck abhängigen minimalen Wert nicht unterschreitet, dadurch gekennzeichnet, dass die von den Druck- und Druchflussistwerten abhängige Regeldifferenz (XD) des die Abblasenventile (2) verstellenden Pumpgrenzreglers (R) nichtlinear verstärkt wird, derart, dass die Verstärkung erhöht wird, wenn die Regeldifferenz einen negativen Mindestwert erreicht, d.h. wenn sich der Betriebspunkt des Verdichters (1) in den unzulässigen Bereich jenseits der Abblaselinie bewegt und hierbei dieselbe um einen vorgegebenen kleinen Betrag überschritten hat.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kennlinie des nichtlinearen Übertragungsgliedes (NL) sich aus mindestens zwei Geraden mit zunehmender Steigung zusammensetzt.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, zum Anfahren des Verdichters, dadurch gekennzeichnet, dass dem Pumpgrenzregler ein gesteuertes, zeitabhängiges Signal zusätzlich eingegeben wird, dessen Polarität einer zulässigen Regeldifferenz entgegengesetzt ist.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass bei Erreichen einer zwischen der Pumpgrenze und der Abblaselinie liegenden Abschaltlinie (Fig. 2) durch den Verdichter-Betriebspunkt die Abblaseventile unabhängig von der übrigen Regelung ganz geöffnet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Handsteuerung der Abblaseventile über eine Extremwertauswahl erfolgt, der gleichberechtigt die Regeldifferenz und die Differenz aus Handsteuersignal und Reglerausgangssignal aufgeschaltet wird und die ein dem jeweils kleinsten Wert der Eingangssignale entsprechendes Ausgangssignal abgibt.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln von Turbo-Verdichtern, insbesondere von Hochofenwindverdichtern, bei denen der Durchfluss und der Förderdruck kontinuierlich gemessen werden, wobei zur Verhinderung des Pumpens nach dem Überschreiten einer zur Pumpgrenze parallel verlaufenden Abblaselinie durch Öffnen von Abblaseventilen sichergestellt wird, dass der Verdichterdurchfluss einen vom Förderdruck abhängigen minimalen Wert nicht unterschreitet.

Derartige Pumpgrenzregelungen wurden bereits unter Verwendung von mechanisch-hydraulischen Reglern vorgenommen. Trotz hohen gerätetechnischen Aufwands ist es bei den bekannten Regelungen jedoch nicht möglich, die Abblaselinie exakt nachzubilden, um ein Pumpen sicher zu verhindern. Ein weiterer Nachteil liegt in dem hohen Wartungsaufwand und der erheblichen Störanfälligkeit dieser mechanisch-hydraulischen Regeleinrichtungen.

Es ist auch bereits bekannt, eine elektronische Pumpgrenzregelung einzusetzen (siehe Mitteilung 542 der Wärmestelle des Vereins deutscher Eisenhüttenleute). Die Pumpgrenzregelung an Verdichtern mit Leitschaufelverstellung ist dabei ähnlich der von Verdichtern mit Drosselverstellung aufgebaut, wobei allerdings der Unterschied besteht, dass wegen der nichtlinearen Pumpgrenzkurve ein Funktionsgeber zur Bildung der Führungsgrösse des Pumpgrenzreglers vorgesehen ist.

Als nachteilig hat sich bei diesen bekannten Regelungen gezeigt, dass unter bestimmten Betriebsbedingungen, z.B. bei einem Steuereingriff von Hand in die Regelung und bei starken Druckschwankungen, das Pumpen des Verdichters nicht sicher genug verhindert werden kann. Während bisher ein vereinzeltes Pumpen als tolerierbar galt, hat sich aber jetzt herausgestellt, dass auch einzelne Pumpstösse vermieden werden müssen.

Neuere Untersuchungen haben ergeben, dass bei grossen Windverdichtern mit Leistungen im Bereich von ca. 25 MW bei jedem Pumpstoss die Schaufeln so stark beansprucht werden, dass die Elastizitätsgrenze überschritten wird und Schaufelbrüche unvermeidbar werden. Da die heutigen Hochofenwindverdichter aus Gründen des Wirkungsgrades so ausgelegt sind, dass jeder Verdichter einen Hochofen speist, treten starke Druckschwankungen, besonders beim «Stauchen», auf, und die Verhinderung auch einzelner Pumpstösse ist dementsprechend schwierig. Dies trifft insbesondere auf schwergehende Hochöfen zu, deren Widerstandskennlinie nahe der Pumpgrenze verläuft.

Es ist dementsprechend Aufgabe der Erfindung, bei Turbo-Verdichtern, insbesondere bei solchen mit Regelung durch Leitschaufelverstellung und stark nicht linearer Pumpgrenzlinie, eine sichere Vermeidung des Pumpens zu erreichen, wobei die Abblaselinie aus Gründen des Wirkungsgrades so nahe wie möglich an der Pumpgrenzlinie liegen soll. Der Aufwand für die Regelungseinrichtung soll möglichst gering sein, sie soll sich weitgehend aus handelsüblichen Schaltelementen aufbauen lassen. Mit ihr sollen auch Steuereingriffe von Hand und Anfahrvorgänge beherrschbar sein.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss mit einem Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, das durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 1 gekennzeichnet ist.

Zum Anfahren des Verdichters wird vorteilhaft ein gesteuertes, zeitabhängiges Signal, dessen Polarität einer zulässigen Regeldifferenz entgegengesetzt ist, dem Regler zusätzlich aufgeschaltet.

In einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass zur sicheren Vermeidung des Pumpens auch in extremen Störfällen eine von der übrigen Regelung unabhängige Einrichtung zum Öffnen der Abblasventile wirksam wird, wenn ein zwischen der Pump- und der Abblasegrenze liegende Abschaltlinie von dem Verdichter-Betriebspunkt erreicht wird.

Auch bei Verstellungen der Abblaseventile von Hand ist es vorteilhaft, vor dem Pumpgrenzregler eine Extremwertauswahl der eintreffenden Signale vorzunehmen, derart, dass die Differenz aus Handsteuerbefehl und Reglerausgangssignal gleichberechtigt zur Regeldifferenz einer Minimalwertauswahl unterworfen werden.

Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand von Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Blockschaltbild einer Hochofen-Windversorgungsanlage;

Figur 2 ein typisches Verdichterkennfeld mit eingezeichneter Hochofenkennlinie;

Figur 3 das Schaltbild einer bekannten elektronischen Regelung eines Hochofen-Windverdichters;

Figur 4 das Schaltbild einer Regelung mit nichtlinearen Verstärkung;

Figur 5 das Schaltbild gemäss Figur 4 mit einer Anfahrschaltung und

Figur 6 das Schaltbild gemäss Figur 5 mit einer Extremwertauswahl.

In einer schematischen Darstellung der Figur 1 erzeugt ein Hochofenwindverdichter 1 in dem angeschlossenen Windnetz einen bestimmten Winddurchfluss bei einem bestimmten Druck. Unmittelbar hinter dem Verdichter 1 ist ein Abblaseventil 2 angeordnet, das gegebenenfalls einen Teil des Durchflusses gegen Atmosphäre abströmen lässt. Danach folgen eine Rückschlagklappe 3, ein Absperrschieber 4 und danach die Winderhitzer 5, von denen in der Figur zur Vereinfachung der Darstellung nur einer dargestellt ist. Der Wind strömt dann in

die Hochofen-Ringleitung 6, um von da aus durch die Düsenstöcke in den Hochofen 7 eingeblasen zu werden. Das dann beim Hochofenprozess anfallende Gichtgas gelangt durch die Gicht 8 in ein Waschsystem 9 und von dort in das Gichtgasnetz 10. Dabei wird heute meist der Hochofengegendruck über das Waschsystem geregelt. Der Gichtgasnetzdruck wird an anderer Stelle ebenfalls geregelt, das Gichtgasnetz stellt somit einen sehr grossen Speicher mit konstantem Druck dar.

In Figur 2 sind in dem mit dem Durchfluss Q_A als Abszisse und dem Förderdruck P_E als Ordinate aufgetragenen Kennlinienfeld eines Verdichters Widerstandskennlinien eines Hochofens eingetragen. Bei normalem Betrieb wird der Verdichter bei voll geöffneten Abblaseventilen angefahren, es stellt sich der Betriebspunkt BP1 ein.

Beim folgenden Schliessen der Abblaseventile wandert der Betriebspunkt des Verdichters langsam entlang der Kennlinie mit dem Leitschaufelstellungsparameter bzw. dem Drehzahlparameter 0% bis auf den Schnittpunkt BP2 mit der Hochofenwiderstandskennlinie HO1. Werden nun die Leitschaufeln weiter geöffnet bzw. die Drehzahl erhöht, fährt der Verdichter auf der Widerstandskennlinie HO1 hoch bis an seine Belastungsgrenze im Betriebspunkt BP3.

Verschiebt sich nun die Widerstandskennlinie HO1 zu einem höheren Widerstand hin, geht also in die Widerstandskennlinie HO2 über, so wandert der Verdichterbetriebspunkt auf der Leitschaufelkennlinie 100% bis zur Abblaselinie im Betriebspunkt BP4. Hier beginnen nun die Abblaseventile zu öffnen, so dass der Verdichter zwar den Druck aufrecht hält, aber den Durchfluss, den der Hochofen nicht abnimmt, gegen Atmosphäre abbläst.

Um ein sicheres Öffnen der Abblaseventile bei Erreichung der Abblaselinie zu erreichen, kann eine bekannte elektrische Schaltung gemäss Figur 3 verwendet werden. In dieser Figur sind wieder die Einrichtungen 1–5 aus Fig. 1 ersichtlich. Ein erster Messumformer 11 misst den Durchfluss durch den Verdichter 1, ein zweiter Messumformer 12 den Förderdruck P_E; diesem Messumformer 12 ist ein Funktionsgeber oder Kurvenzugrechner 13 angeschlossen, dessen Kennlinie in Fig. 3 ersichtlich ist. Beide Messwertregler sind mit einer gemeinsamen Vergleichsstelle 14 verbunden, deren Funktion noch erläutert wird. Ihr Ausgang ist mit dem Eingang eines Pumpgrenzreglers 15 verbunden, dessen Kennlinie ebenfalls ersichtlich ist. Ein elektrohydraulischer Wandler 16 erhält vom Regler 15 die entsprechenden Signale, mittels welchen er auf einen die Abblaseventile 2 steuernden Stellantrieb 17 einwirkt. Der Wandler 16 kann vom Regler 15 durch ein Steuermagnetventil 18, das auf einem Schalter 19 einwirkt, abgeschaltet werden.

Die gemessenen Werte des Verdichterdurchflusses Q_A und des Förderdrucks P_E werden in elektrische Signale umgewandelt, wobei das Signal des Förderdrucks P_E durch den Funktionsgeber 13 der Abblaselinie entsprechend umgewandelt wird. Die Differenz der Signale wird wie üblich in der Vergleichsstelle gebildet und als Regeldifferenz dem PI-Regler 15 aufgeschaltet, der wiederum die Stellgrösse y für die Abblaseventile 2 bildet.

Wie bereits angegeben, lässt sich mit dieser Art Regelung nicht in allen Fällen das Pumpen vermeiden, insbesondere wenn nach starken Druckschwankungen ein Überschwingen auftritt.

Gemäss der Erfindung wird deshalb, wie aus Figur 4 zu erkennen ist, dem Regler 15 ein nichtlineares Übertragungsglied 20 vorgeschaltet. In der Vergleichsstelle 14 zur Bildung der Regeldifferenz x_D wird durch entsprechende Vorzeichenwahl erreicht, dass zulässige Regeldifferenzen ein positives und unzulässige Regeldifferenzen ein negatives Vorzeichen aufweisen. Eine positive Regeldifferenz des Pumpgrenzreglers 15 bedeutet, dass der Betriebspunkt des Verdichters sich im Kennfeld (Figur 2) rechts von der Abblaselinie, bei negativer Regeldifferenz entsprechend links von der Abblaselinie befindet.

Die Verstärkerkennlinie des nichtlinearen Übertragungsglieds 20 setzt sich wie aus Fig. 4 ersichtlich aus mindestens zwei Geraden mit zunehmender Steigung zusammen. Der Knickpunkt der Kennlinie ist so eingestellt, dass er im negativen Quadranten liegt; damit wird erreicht, dass kleine negative Regeldifferenzen, wie sie durch verrauschte Signale entstehen können, bis zu einem bestimmten Betrag unberücksichtigt bleiben. Bei grösseren negativen und damit unzulässigen Regeldifferenzen tritt die höhere Verstärkung, beispielsweise im Verhältnis 1:5, der Regeldifferenz ein und bewirkt ein verstärktes Eingreifen des Pumpgrenzreglers 15 und damit ein schnelles Öffnen der Abblaseventile 2, so dass der Verdichter-Betriebspunkt in den zulässigen Bereich zurückgeführt wird.

Die in der Vergleichsstelle 13 gebildete Regeldifferenz x_D wird ausserdem in einer Grenzwertkontrolleinrichtung 21 mit einem Grenzwert verglichen, der entsprechend der Abschaltlinie in Figur 2 verläuft und, wie dort zu ersehen ist, zwar noch vor der Pumpgrenze liegt, aber so weit von der Abblaselinie entfernt, dass er nur bei einem Defekt der Regelanlage oder einem Zusammentreffen von regeldynamisch schlechtesten Umständen erreichbar ist. Bei Überschreiten des Grenzwerts werden mittels einer geeigneten unabhängigen Steuerung die Abblaseventile 2 voll geöffnet. Diese Steuerung, die anstelle des Schalters 19 tritt, weist ausser der genannten Grenzwertkontrolleinrichtung 21 ein «Oder»-Glied 22 und ein «Und»-Glied 23 auf, wobei das letztere die Regelungsfreigabe bewirkt, indem es auf das Steuermagnetventil 18 einwirkt. Dieses Ventil steuert seinerseits ein Mehrwegventil 24, welches den Hydraulikkreis zwischen dem Wandler 16 und dem Stellantrieb 17 derart beeinflusst, dass der letztere unabhängig vom Wandler 16 die Abblaseventile 2 voll öffnet. Die beiden Glieder 22, 23 können ausserdem durch eine Handsteuerung 25 beeinflusst werden.

Bei Anfahrvorgängen soll einerseits der normale Betriebszustand möglichst schnell erreicht werden, andererseits sind die dann bei der Verwendung von normalen PI-Reglern auftretenden starken Überschwingungen, die zum Pumpen führen können, möglichst zu unterdrücken. Zweckmässig wird deshalb der Anfahrvorgang automatisch gesteuert.

Dazu wird, wie in Figur 5 dargestellt, eine einen steuerbaren Integrator 26 enthaltende Anfahrschaltung eingesetzt. Die übrige Schaltung ist ähnlich wie in Fig. 4, mit denselben Elementen. Die genannte Anfahrschaltung funktioniert folgendermassen:

Beim Anfahren des Verdichters 1 sind die Abblaseventile 2 gesteuert offen. Während der Dauer dieses Steuerbefehls wird der Integrator 26 auf einen einstellbaren Betrag gesetzt, der so gross ist, dass die Summe dieses Betrags und der Regeldifferenz, die durch einen weiteren Messumformer 27 noch genauer bestimmt wird, einen sicheren Öffnungsbefehl des Reglers 15 gewährleistet. Die Ausgangsspannung des Integrators 26 ist von ihrer Polarität her einer zulässigen Regeldifferenz entgegengesetzt. Hierdurch wird dem Regler 15 eine unzulässige Regeldifferenz vorgetäuscht und er reagiert entsprechend. Wenn der Anfahrvorgang des Verdichters 1 abgeschlossen ist, kann ein langsames Schliessen der Abblaseventile 2 zugelassen werden, bis der Verdichter-Betriebspunkt die Abblaselinie erreicht. Der Integrator 26 wird freigegeben, sein Inhalt entlädt sich mit einer einstellbaren Geschwindigkeit, sein Ausgangssignal geht entsprechend von seinem Anfangswert auf den Wert Null. Hierdurch wird in zunehmendem Masse die echte Regeldifferenz am Pumpgrenzregler 15 wirksam, so dass dieser über den Wandler 16 und den Stellantrieb 17 die Abblaseventile 2 langsam so weit schliesst, dass der Verdichter-Betriebspunkt auf der Abblaselinie verbleibt. Durch geeignete Wahl der Entladegeschwindigkeit des Integrators 26 wird sichergestellt, dass beim Anfahrvorgang der Betriebspunkt des Verdichters 1 die Abblaselinie nicht überschreitet.

Bei älteren Regeleinrichtungen ist es bekannt, Handsteuerbefehle in Form eines kontinuierlichen elektrischen Signals und das Ausgangssignal des Pumpgrenzreglers 15 in einer Extremwertauswahlschaltung zu verarbeiten, deren Ausgangssignal 1 zur Ansteuerung des die Abblaseventile 2 verstellenden Stellantriebs 17 dient. So wird sichergestellt, dass die Abblaseventile von Hand zwar weiter geöffnet, aber nicht weiter geschlossen werden können, als dies vom Pumpgrenzregler 15 gefordert wird. Diese Anordnung hat jedoch den Nachteil, dass es bei einer sehr schnellen Änderung des Handsteuersignals von «Öffnen» in Richtung «Schliessen» zu ähnlichen Überschwingungserscheinungen kommen kann wie bei Anfahrvorgängen ohne die oben beschriebene Anfahrschaltung.

Zur Vermeidung dieser Erscheinung wird das Signal einer solchen Handsteuerung 28, die einen motorischen Sollwertsteller 28a enthält, gemäss Figur 6 mit dem Ausgangssignal des Pumpgrenzreglers 15 verglichen. Diese Differenz und die Regeldifferenz des Pumpgrenzreglers werden einer Minimalwertauswahlschaltung 29 zugeführt. Das Ausgangssignal dieser Schaltung 29 wird anstelle der Regeldifferenz dem Pumpgrenzregler 15 aufgeschaltet. So wird sichergestellt, dass die Abblaseventile 2 von Hand zwar stets weiter geöffnet, aber nicht weiter geschlossen werden können, wenn hierdurch der Verdichterbetriebspunkt die Abblaselinie überschreiten würde. Da jedoch das Ausgangssignal des Pumpgrenzreglers stets mit der tatsächlichen Stellung der Abblaseventile übereinstimmt, können die oben beschriebenen Überschwingungen nicht auftreten.

Fig. 1

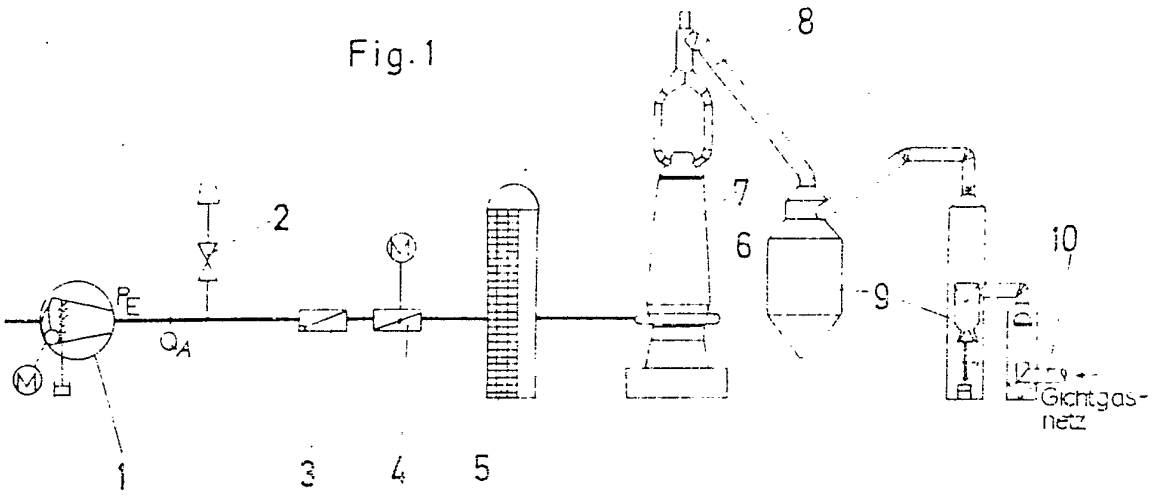
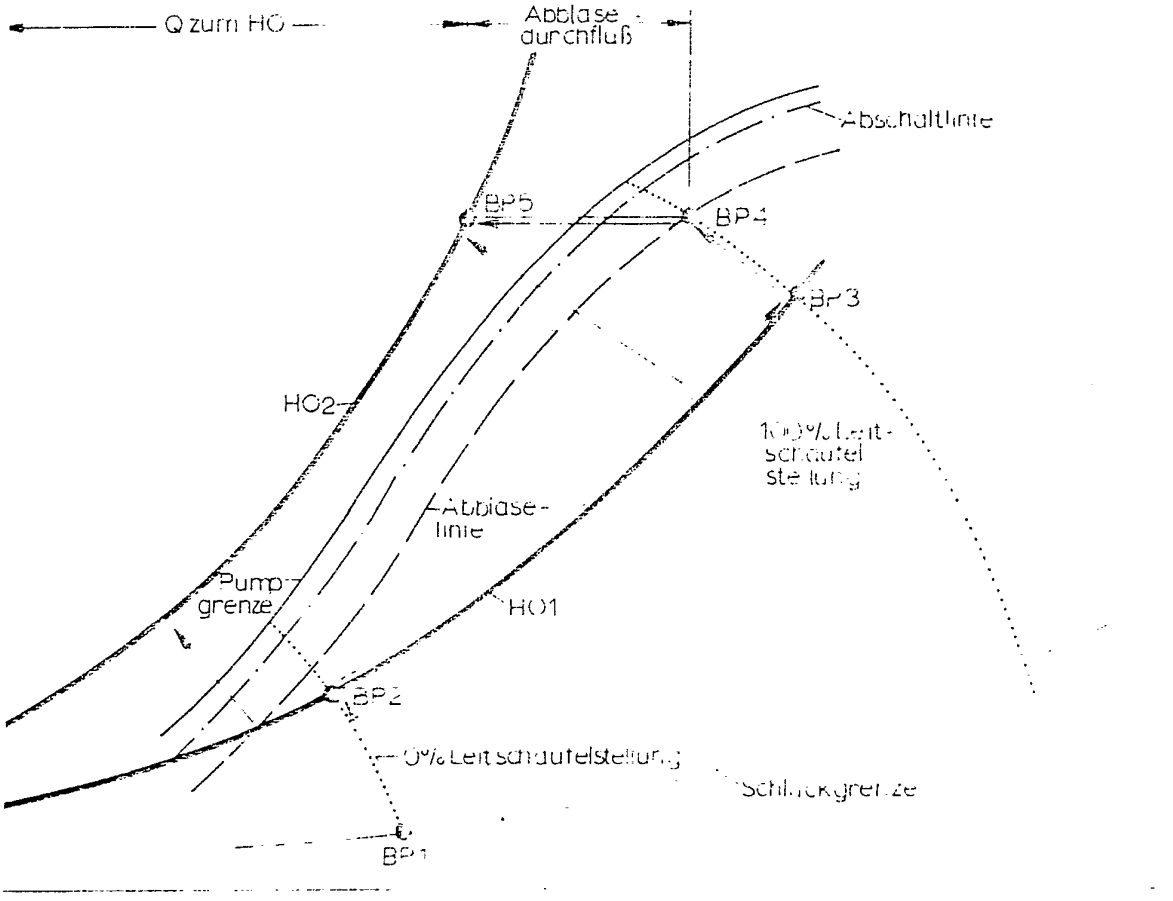

8
7
6
2
10
9
P_E
Q_A
Gichtgas-
netz
1
3
4
5

Fig. 2


Q zum HO
Abblase-
durchfluß
Abschaltlinie
BP5
BP4
BP3
HO2
100% Leit-
schaufel
stellung
Abblase-
linie
Pump-
grenze
HO1
BP2
0% Leitschaufelstellung
Schluckgrenze
BP1

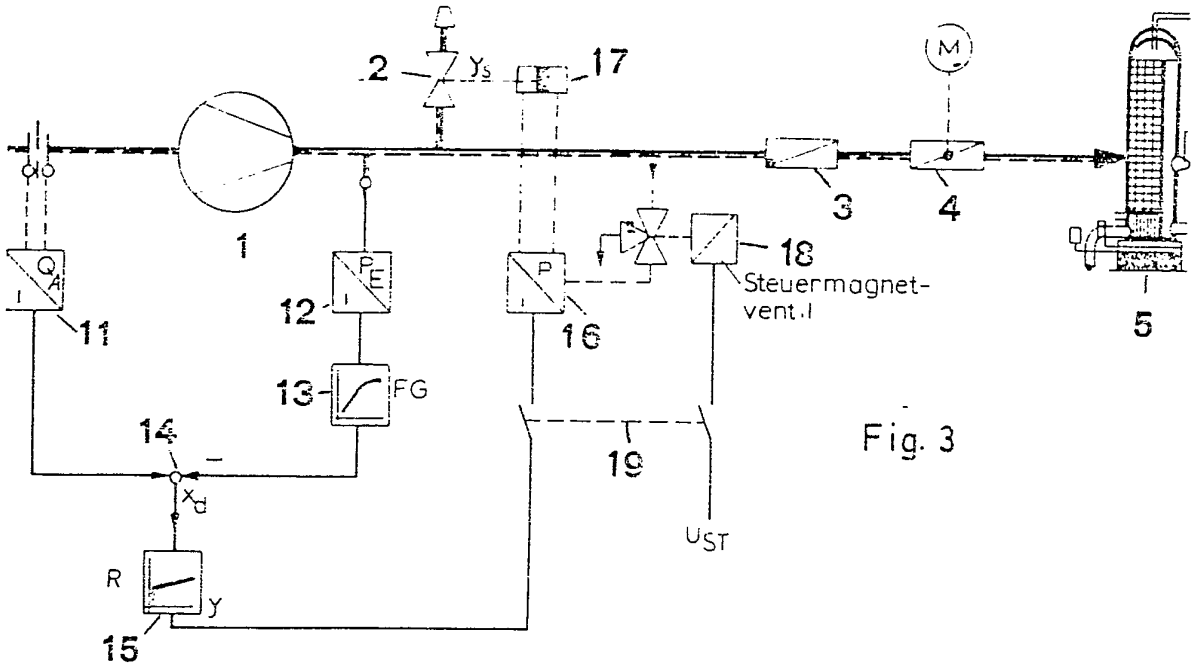

2
y_s
17
M
1
3
4
5
18
Steuermagnet-
vent.I
Q_A
11
P_E
12
P
16
13
FG
14
x_d
R
y
15
19
U_{ST}

Fig. 3

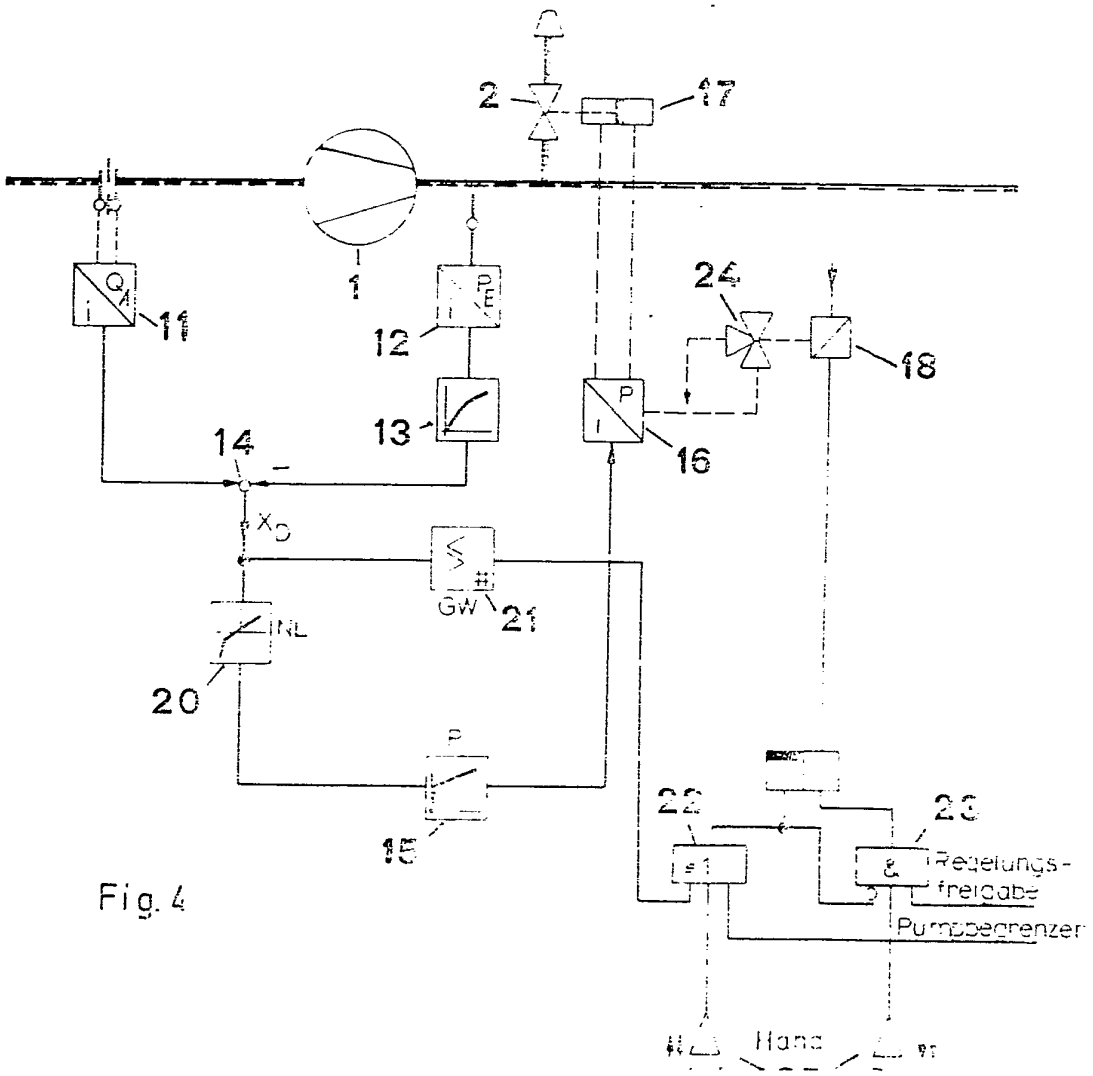

2
17
1
Q_A
11
P_E
12
24
18
13
P
16
14
x_D
GW
21
NL
20
P
15
22
23
Regelungs-
freigabe
Pumpbegrenzer
Hand

Fig. 4

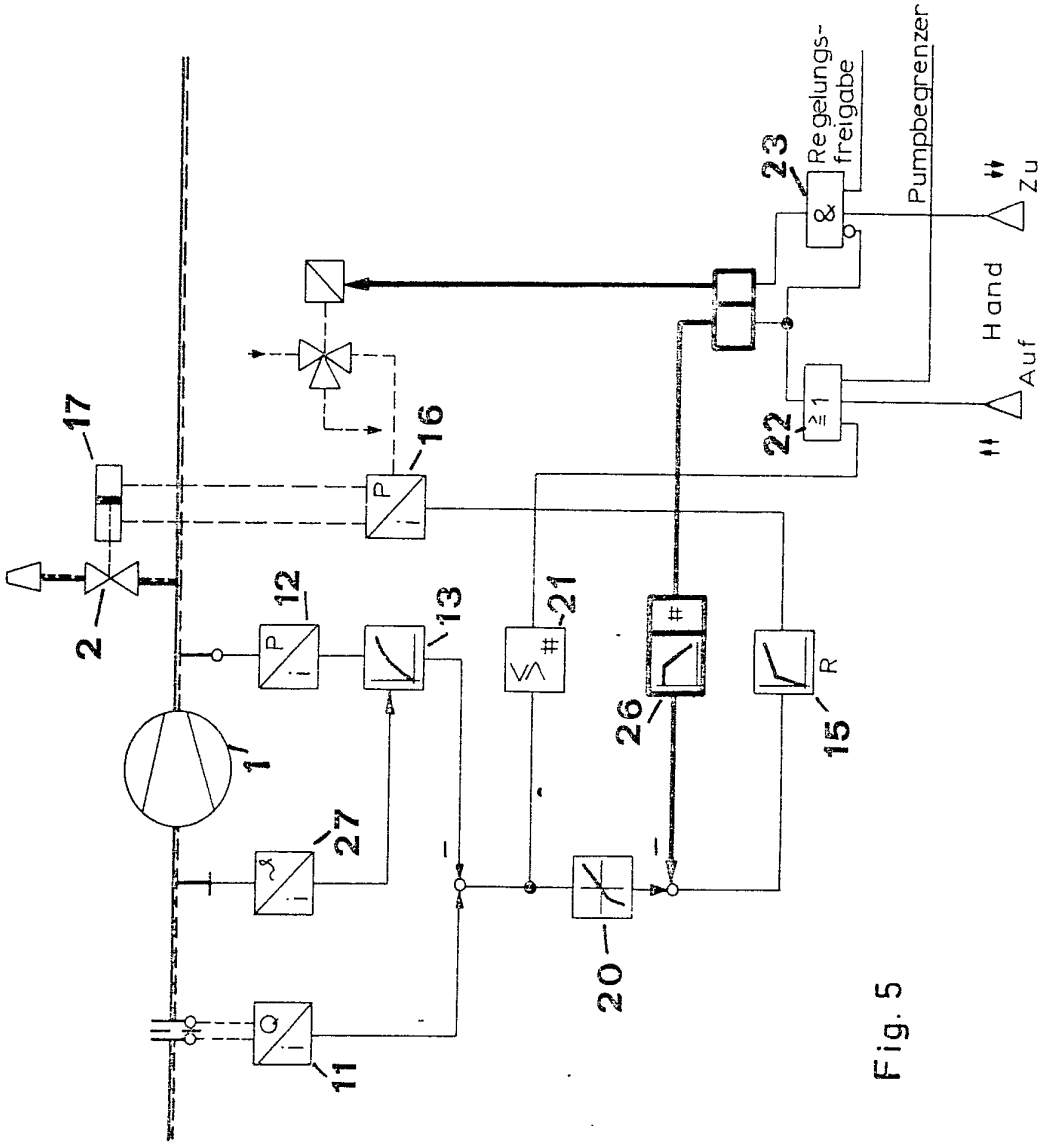

Regelungs-
freigabe
Pumpbegrenzer
Zu
Hand
Auf
1
2
11
12
13
15
16
17
20
21
22
23
26
27
P
R
Q
≥1
&

Fig. 5

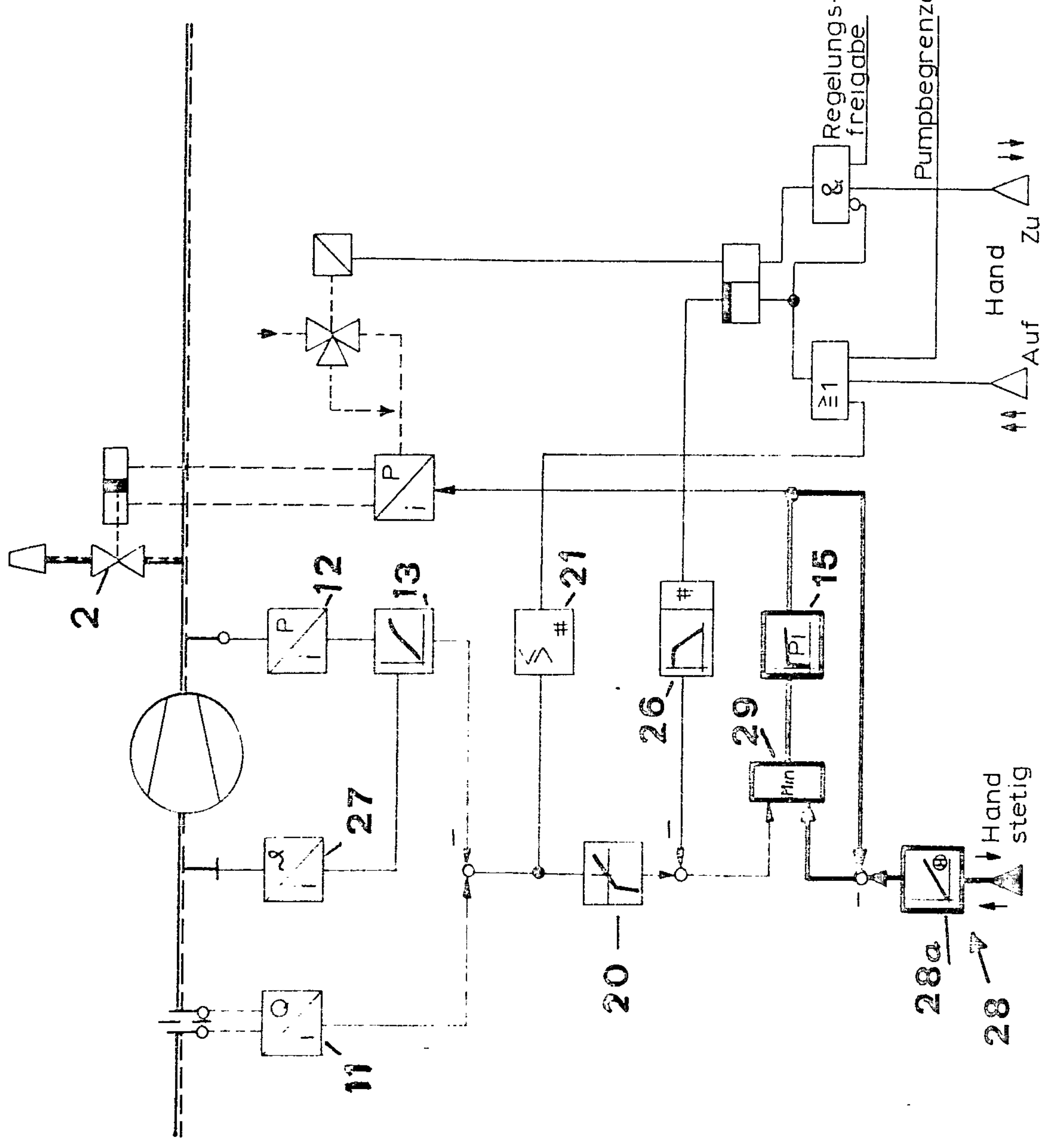

2
12
13
21
26
15
29
27
20
11
28a
28
Regelungs-
freigabe
Pumpbegrenzer
Hand
Auf
Zu
Hand
stetig
&
≥1
Min
PI

Fig. 6