

12

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: 84100822.0

51 Int. Cl.<sup>4</sup>: F 04 D 27/00

22 Anmeldetag: 26.01.84

30 Priorität: 01.08.83 US 519097

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
13.02.85 Patentblatt 85/7

84 Benannte Vertragsstaaten:  
CH DE FR GB IT LI NL

71 Anmelder: M.A.N. MASCHINENFABRIK  
AUGSBURG-NÜRNBERG Aktiengesellschaft  
Bahnhofstrasse 66  
D-4200 Oberhausen 11(DE)

72 Erfinder: Blotenberg, Wilfried, Dipl.-Ing.  
Hasenstrasse 20  
D-4200 Oberhausen 12(DE)

54 Verfahren zum Regeln von mindestens zwei parallel geschalteten Turbokompressoren.

57 Verfahren zum Betreiben von mindestens zwei parallel geschalteten Turbokompressoren, die jeweils zur Verhinderung des Pumpens mit einer Pumpgrenzregelung versehen sind, d.h. daß bei ihnen vor Erreichen der Pumpgrenze beim Erreichen einer zu dieser parallel verlaufenden Abblaselinie durch Öffnen von Abblaseoder Umblaseventilen sichergestellt wird, daß ein Pumpen vermieden wird, und wobei die Turbokompressoren außerdem gemeinsam von Lastverteilungsreglern und einzeln von je einem Druckregler gesteuert werden in der Weise, daß die Lastverteilungsregler die Einstellung der Kompressoren untereinander derart regeln, daß bei jedem gleiche Abstände des Betriebspunktes gegenüber der Abblaselinie vorliegen.

**EP 0 132 487 A2**

1 M.A.N. MASCHINENFABRIK AUGSBURG-NÜRNBERG  
Aktiengesellschaft

4200 Oberhausen 11

5 RG, Si/Pi.- 2600 EP

10 Verfahren zum Regeln von mindestens zwei parallel geschalteten Turbokompressoren

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben  
15 von mindestens zwei parallel geschalteten Turbokompressoren, die jeweils zur Verhinderung des Pumpens mit einer Pumpgrenzregelung versehen sind, d. h. daß bei ihnen vor Erreichen der Pumpgrenze beim Erreichen einer zu  
20 dieser parallel verlaufenden Abblaselinie durch Öffnen von Abblase- oder Umblaseventilen sichergestellt wird, daß ein Pumpen vermieden wird, und wobei die Turbokompressoren außerdem gemeinsam von Lastverteilungsreglern und einzeln von je einem Druckregler gesteuert werden.

25 Bei Kompressoren im Parallelbetrieb besteht häufig die Aufgabe, die Last gleichmäßig auf alle Maschinen zu verteilen. Üblicherweise wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß jeder Maschine ein Durchflußregler zugeordnet wird. Der Sollwert dieser Durchflußregler wird von einem  
30 gemeinsamen übergeordneten Druckregler vorgegeben.

Jeder Durchflußregler hat den gleichen Sollwert (Ausgang des Druckreglers) und führt infolgedessen jede  
35 Maschine in den Arbeitspunkt, in dem sie mit dem gleichen Durchsatz betrieben wird wie die Parallelmaschine(n). Bei unterschiedlichen Kennlinien der Maschinen ist es dabei nachteilig möglich, daß dabei eine Maschine im Abblase- oder Umblasebetrieb gefahren wird, während

1 die andere weit im Kennfeld fährt. Diese Gefahr ist  
bei Maschinen mit flachen Kennlinien besonders groß.

Diese Anordnung hat außerdem den Nachteil, daß der  
5 Durchflußregler in Kaskade zum Druckregler arbeitet.

Bleibende Regelfehler müssen dabei vermieden werden,  
so daß beide Regler als PI-Regler zu schalten sind.  
Eine Reihenschaltung von zwei PI-Reglern kann aber  
10 bekanntlich nur dann stabil arbeiten, wenn der vor-  
geschaltete Regler wesentlich langsamer arbeitet als  
der unterlagerte. Da Turbokompressoren in der Regel  
auch noch mit Pumpgrenzregelungen ausgerüstet sind,  
die ebenfalls PI-Verhalten haben, bestimmen diese  
15 das Zeitverhalten aller Regelungen.

In der Praxis wird dabei die Pumpgrenzregelung erst  
einmal stabil eingestellt. Die Durchflußregelung muß  
dann wesentlich langsamer reagieren, um Rückwirkungen  
20 zu vermeiden. Die Druckregelung als überlagerte Füh-  
rungsregelung muß wiederum noch wesentlich langsamer  
reagieren. Die Folge ist, daß der Druckregler Störun-  
gen nur relativ langsam ausregeln kann. Die Lastver-  
teilungsregelung hat in diesem Zusammenhang die Aufgabe,  
25 Betriebszustände zu verhindern, in denen eine Maschine  
abbläst, während andere Maschinen oder eine andere  
Maschine weit im Kennfeld fahren. Eine Regelung zur  
Einstellung von gleichem Durchfluß kann diese Aufgabe  
nicht vollständig erfüllen. So können z. B. Unsymme-  
30 trien im Verlauf der Kennlinien bzw. der Abblaselinien,  
wie oben beschrieben, genausowenig kompensiert werden  
wie der Einfluß unterschiedlicher Saugdrücke oder ein  
unsymmetrischer Strömungsverlauf in den Rohrleitungen.

35 Es ist demgemäß Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren  
zum Betreiben bzw. Regeln von parallelgeschalteten

1 Turbokompressoren zu finden, dem die vorgenannten Nach-  
teile nicht mehr anhaften und das es insbesondere er-  
laubt, sämtliche Turbokompressoren während des Betriebes  
im ausreichenden Abstand von der Abblaselinie zu betrei-  
5 ben, so daß ein überflüssiges Abblasen einerseits sicher  
vermieden wird, andererseits aber auch eine möglichst  
große Sicherheit gegen Pumpen vorhanden ist.

Die Turbokompressoren sollen dabei unter Berücksichtigung  
10 ihrer individuellen Werte unter möglichst günstigen Be-  
dingungen betrieben werden können, sie sollen möglichen  
Druck- und Durchflußschwankungen möglichst schnell an-  
gepaßt werden können, wobei die gesamte Regelung sicher,  
störunanfällig und wirtschaftlich sein soll. Insbesondere  
15 soll die gesamte Regelung mit handelsüblichen Bauelemen-  
ten verwirklicht sein.

Diese Aufgabenstellung soll weiterhin gelöst werden  
unter dem neuartigen Gesichtspunkt, daß insbesondere  
20 ein Abblasen oder Pumpen einzelner Kompressoren ver-  
mieden werden soll, da dadurch Belästigungen z. B. durch  
Lärm, Wirkungsgradverluste erheblicher Größe und unter  
Umständen auch Schäden auftreten können.

25 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß bei dem eingangs  
genannten Verfahren dadurch gelöst, daß die Lastver-  
teilungsregler die Einstellung der Kompressoren unter-  
einander derart regeln, daß bei jedem gleiche Abstände  
des Betriebspunktes gegenüber der Abblaselinie vorliegen.

30

Vorteilhaft zu einer besonders schnellen Anpassung  
an Zustandsänderungen kann dabei nur einer der Kom-  
pressoren von seinem Druckregler gesteuert werden und  
die übrigen werden über die Lastverteilungsregelung  
35 nachgeführt. Dadurch wird auch sichergestellt, daß  
auch in der Regelphase ein optimaler Abstand der Ar-  
beitspunkte von der Abblaselinie vorhanden ist.

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

Figur 1 eine Kaskadenregelung herkömmlicher Art nach dem  
5 Stand der Technik,

Figur 2 eine Lastverteilungsregelung gemäß der Erfindung,

Figur 3 eine Nachführschaltung gemäß der Erfindung, zur  
Begrenzung der Reglerausgänge,

10 Figur 4 eine Endlagenbegrenzung gemäß der Erfindung,

Figur 5 eine Lastverteilungsregelung in Form eines  
Schrittreglers,

Figur 6 eine erfindungsgemäße Schaltung zum Parallelbe-  
trieb von jeweils zwei von drei vorhandenen  
15 Maschinen,

Figur 7 die Schaltung für den Parallelbetrieb von drei  
Maschinen,

Figur 8 eine Lastverteilungsregelung mit nur einem  
Druckregler,

20 Figur 9 eine Schaltung zum Parallelbetrieb zweier von  
drei Kompressoren und

Figur 10 eine Schaltung zum Parallelbetrieb von drei  
Kompressoren.

25 Gemäß Figur 2 besitzt jeder Kompressor eine eigene  
Druckregelung, die direkt auf die Drosselklappe wirkt.  
Die Druckregelung kann dadurch im Zeitverhalten so  
schnell gemacht werden, wie im bekannten System der  
Durchflußregler.

30

Die Druckregler sind derart gegeneinander verriegelt,  
daß nur maximal ein Druckregler auf Automatik geschal-  
tet sein kann. Der andere bzw. die anderen ist bzw.  
sind auf Hand geschaltet, d. h. passiv, solange kein  
35 Handeingriff erfolgt.

Die Lastverteilung wird durch je einen parallelen

1 Lastverteilungsregler (FC) erreicht. Dieser Regler  
erhält erfindungswesentlich als Istwert nicht den  
Durchfluß, sondern den Abstand des Arbeitspunktes der  
Maschine von der Abblaselinie (gemessen im Druck-  
5 Durchflußdiagramm).

Diese Größe ist identisch mit der Regeldifferenz  $x_d$  der  
Pumpgrenzregelung (FSC) und steht dort als Signal zur  
Verfügung, braucht also nicht gesondert bestimmt oder  
10 gemessen werden. Die Bestimmung eines solchen Signals  
geht z. B. aus der deutschen Patentanmeldung P 26 23 899.3  
hervor, in welcher auch ein entsprechendes Druck-Durch-  
flußdiagramm gezeigt wird, welches eine Pumpgrenz- und  
Abblaselinie sowie Betriebskurven von Turbokompressoren  
15 enthält. Im übrigen sind die genannten Begriffe dem  
Fachmann allgemein bekannt.

Bei einer unsymmetrischen Belastung der Maschinen ist  
die Regeldifferenz der einen Maschine ( $x_d(A)$ ) anders  
20 als die der anderen Maschine ( $x_d(B)$ ). Die Differenz  
dieser beiden Größen wird als Korrekturgröße (Istwert)  
den beiden Lastverteilungsreglern aufgeschaltet, und  
zwar mit unterschiedlichen Vorzeichen. Der Sollwert  
dieser Regler ist in der Regel auf Null gestellt, er  
25 kann jedoch auch andere Werte annehmen, wenn eine Un-  
symmetrie gewünscht ist.

Der Ausgang der Lastverteilungsregler wirkt additiv  
auf den Ausgang der Druckregler. Bei einer vorhande-  
30 nen unterschiedlichen Belastung der Maschinen fährt  
der eine Lastverteilungsregler die Drosselklappe weiter  
auf, während der andere die Klappe der Parallelmaschine(n)  
im gleichen Maße schließt. Setzt man lineare Kenn-  
linien der Drosselklappen voraus, wird durch diesen  
35 Regelvorgang der Gesamtdurchsatz der Maschinen und da-  
mit der Enddruck nicht beeinflußt. Bei einer realen  
Anlage braucht der Druckregler nur die Unsymmetrien der

1 Drosselklappen nachregeln.

Da Druckregler und Lastverteilungsregler dadurch be-  
reits systembedingt entkoppelt sind, können beide glei-  
5 ches Zeitverhalten erhalten. Bei einer Änderung des End-  
druckes führt der Druckregler zunächst die Maschine  
nach, die auf Automatik steht. Die dadurch bedingte  
Unsymmetrie in der Maschinenbelastung wird vom Last-  
verteilungsregler erfaßt, der anschließend  
10 alle Maschinen soweit nachführt, bis die Symmetrie  
wieder erreicht ist.

Im Betrieb der Kompressoren werden gemäß Figur 2 die  
Ausgänge von Druckregler und Lastverteilungsregler  
15 addiert. Dadurch kann diese Summe, d. h. die Stell-  
größe der Drosselklappe, Werte zwischen 0 und 200 %  
der Nenngröße annehmen. Da die Klappe bereits bei 100 %  
die Endlage erreicht, kann eine erhebliche Übersteuerung  
eintreten. Dies ist unerwünscht und kann zu erheblichen  
20 Betriebsstörungen führen.

Um dies zu verhindern, kann eine Schaltung gemäß Figur 3  
eingesetzt werden. Figur 3 zeigt eine solche Nachführ-  
schaltung. Es werden Regler eingesetzt, deren Ausgangs-  
25 größe auf einen extern einstellbaren Wert begrenzt wer-  
den kann. Eine Übersteuerung wird dann verhindert, wenn  
der Ausgang eines jeden Reglers auf eine Größe begrenzt  
wird, die der Differenz aus der anderen Stellgröße und  
100 % entspricht.

30

Eine andere Möglichkeit besteht darin, den weiteren An-  
stieg der beiden Stellgrößen stets dann zu verhindern,  
wenn die Drosselklappe ihre Endlage erreicht hat.

35 Technisch kann dies entweder durch eine entsprechende  
Beschaltung der Regler, aber auch gemäß dem Schalt-  
schema entsprechend Figur 4 durch eine Maximalauswahl  
vor jedem Regler erreicht werden.

1 Um auch bei Stellgrößen nahe 100 % noch eine ausreichenden  
Reglerdynamik zu erhalten und keine unzulässige Be-  
grenzung der Regeldifferenzen für Druckregler und Last-  
5 verteilungsregler zu erhalten, wird ein Verstärker ein-  
gesetzt.

Die gleiche Funktion läßt sich auch erreichen, wenn  
den Maximalauswahlgeräten bei Erreichen der Endlage  
(gemeldet durch einen Endschalter oder eine Grenzwert-  
10 stufe an der Stellgrößensumme) ein Wert null aufge-  
schaltet wird, während in allen anderen Fällen 100 %  
vorgegeben werden.

Ein grundsätzlich anderer Weg kann beschritten werden,  
15 wenn gemäß dem Schaltschema entsprechend Figur 5 der  
Lastverteilungsregler als Dreipunkt-Schrittregler ausge-  
führt wird. Übersteigt die Korrekturgröße die im  
Schrittregler eingestellte Schaltschwelle, wird der  
nachgeschaltete Integrator solange in die jeweilige  
20 Richtung verfahren, bis die Schwelle wieder unterschrit-  
ten wird.

Gleichzeitig wird die Korrekturgröße als zusätzlicher  
Wert auf die Regeldifferenz des Druckreglers addiert.  
25 Der Ausgang des Druckreglers ist auch auf den Nachführ-  
eingang des Integrators geschaltet, der Ausgang des  
Integrators auf den Nachführeingang des Reglers.

Ist der Druckregler auf Automatik geschaltet, wirkt  
30 die Korrekturgröße durch diesen Regler auf die Drossel-  
klappe. Der Druckregler verfährt sein Ausgangssignal so  
lange, bis sowohl Regeldifferenz als auch Korrektur-  
größe null sind. Der Integrator ist gleichzeitig auf  
Nachführen geschaltet. Der Schrittregler ist damit  
35 unwirksam, der Integrator folgt dem Druckregleraus-  
gang unverzögert.

- 1 Ist der Druckregler ausgeschaltet, wird sein Ausgang auf den Integratorausgang nachgeführt. Der Integrator wird vom Schrittreger verstellt, der somit einen direkten Einfluß auf die Drosselklappenstellung nimmt.
- 5 Eine Umschaltung erfolgt stoßfrei, da nur jeweils Regler oder Integrator im Eingriff ist und die nicht führende Komponente auf den Ausgang der anderen nachgeführt wird. Dadurch wird auch Übersteuerung verhindert.
- 10 Sollen beide Regler auf Handbetrieb geschaltet werden, genügt es, nur den Druckregler auf Hand zu schalten. Damit wird die Drosselklappenstellung nur noch von Hand vorgegeben.
- 15 Soll der Druckregler auf Automatik geschaltet sein, der Lastverteilungsregler jedoch auf Hand, muß die Korrekturgröße durch einen Steuereingriff zu null gemacht werden.
- 20 Das Zeitverhalten des Lastverteilungsreglers läßt sich entweder durch einen Taktgeber im Ausgang des Schrittteggers oder durch eine einstellbare Zeitkonstante des Integrators einstellen.
- 25 Statt des Schrittreger können auch zwei Grenzwertstufen eingesetzt werden.
- Eine Unsymmetrie kann durch Addition eines Festwertes auf die Korrekturgröße erreicht werden.
- 30 Das erfindungsgemäße, vorstehend beschriebene Verfahren läßt sich auch dann anwenden, wenn mehr als zwei Maschinen installiert sind. Falls von mehreren Maschinen nur jeweils zwei in Betrieb sind, muß durch eine Auswahllogik lediglich sichergestellt werden, daß die
- 35 Korrekturgröße als Differenz der Regeldifferenzen der beiden laufenden Maschinen auf die jeweiligen Regler

1 geschaltet sind. Ein Schema für die Umschaltung bei  
drei vorhandenen Maschinen zeigt Figur 6.

Es werden die Korrekturgrößen für jede mögliche Ma-  
5 schinenkombination gebildet ( $x_d(A) - x_d(B)$ ;  $x_d(B) -$   
 $x_d(C)$ ;  $x_d(A) - x_d(C)$ ).

Für jede Maschine gibt es zwei Kombinationen, so daß  
jeder Druckregler mit zwei Korrekturgrößen beaufschlagt  
wird. Die Auswahllogik muß die Korrekturgrößen aller  
10 unzulässigen Kombinationen zu null machen (Schalter  
A&B, B&C sowie A&C). Die Korrekturgröße der angewählten  
Maschinenkombination ist parallel auf die beiden zuge-  
hörigen Druckregler geführt. Eine Verriegelung der  
Druckregler muß sicherstellen, daß nur jeweils ein  
15 Druckregler auf Automatikbetrieb geschaltet sein kann.

In den Eingängen der Lastverteilungsregler werden die  
unzulässigen Kombinationen durch Logikstufen verriegelt.

20 Selbstverständlich ist es möglich, auf diese Logik-  
stufen zu verzichten und das Eingangssignal für den  
Schrittregler hinter den Umschaltern abzugreifen. Dies  
hat jedoch den Nachteil, daß die zu null geschalteten  
Signale keine Restspannung haben dürfen, da die Integra-  
toren sonst beeinflusst werden können.  
25

Auf eine Umschaltung kann ganz verzichtet werden, wenn  
bereits bei der Planung festgelegt werden kann, welche  
der beiden jeweils in Betrieb befindlichen Maschinen  
30 den Druck regelt und welche nachgeführt wird. In diesem  
Fall braucht die jeweilige analoge Korrekturgröße nur  
auf den entsprechenden Regler geschaltet zu werden.

Denkbar ist z. B., daß bei den Kombinationen A&B, B&C  
35 sowie C&A jeweils die erste den Druck regelt. Ein Para-  
lellbetrieb von drei oder mehr Maschinen ist erfindungs-

1 gemäß ebenfalls möglich. Es werden zunächst die Korrek-  
turgrößen für alle denkbaren Kombinationen von jeweils  
zwei Maschinen gebildet. Die für die vorgegebene Kon-  
stellation unzulässigen Kombinationen mit außer Betrieb  
5 befindlichen Maschinen werden zu null gemacht. Dem  
Druckregler einer jeden Maschine werden alle Korrektur-  
größen, in denen die Regeldifferenz dieser Maschine vor-  
kommt, vorzeichenrichtig aufaddiert.

10 Da die Mittelwerte aller Korrekturgrößen stets null  
ergeben, erfolgt hierdurch eine auf die jeweilige Ma-  
schine bezogene gewichtete Mittelwertbildung.

15 Mit den Eingängen der Lastverteilungsregler wird ent-  
sprechend verfahren. Für jede Korrekturgröße gibt es  
einen eigenen Schrittregler. In seinen Ausgängen werden  
alle Kombinationen mit außer Betrieb befindlichen Ma-  
schinen gesperrt.

20 Der Ausgang eines jeden Schrittreglers wird parallel  
auf die Integratoren der beiden Maschinen geführt,  
deren Regeldifferenzen in der Korrekturgröße vorkommen.  
Auch bei den Schrittreglerausgängen ist die Anzahl der  
Stellbefehle in Richtung steigender Stellbefehle genau  
25 so groß wie die in Richtung sinkender. Es wird auch hier  
ein Mittelwert gebildet, der genau das gewünschte Stell-  
verhalten bewirkt. In Figur 7 wird ein Schaltschema  
für den Betrieb von drei Maschinen dargestellt, wobei  
die Auswahlhaltung sowie die weiteren, außer Betrieb  
30 befindlichen Maschinen nicht dargestellt sind.

#### Beispiel:

Es wurde folgender Betriebspunkt angenommen

35

$$x_d (A) = 50 \% , x_d (B) = 40 \% , x_d (C) = 30 \%$$

1 Druckregler (PC) A erhält damit eine Korrekturgröße

$$(x_d(A) - x_d(B) + (x_d(A) - x_d(C))) = 30 \%$$

5 Druckregler B erhält

$$- (x_d(A) - x_d(B)) + (x_d(B) - x_d(C)) = 0 \%$$

und Druckregler C

10  $- x_d(B) - x_d(C) - (x_d(A) - x_d(C)) = - 30 \%$

Integrator A erhält einen + Befehl, Integrator B einen + und einen - Befehl und Integrator C einen - Befehl.

15 Der + und der - Befehl an Integrator B heben sich auf, so daß Maschine B nicht verstellt wird. Eine Lastaufteilung erfolgt durch Verstellung von Maschine A und Maschine C.

20 Es ist selbstverständlich, daß auch bei drei Maschinen im Parallelbetrieb nur eine auf Druckregelung geschaltet sein darf. Für den Parallelbetrieb von drei Maschinen gelten alle Bemerkungen für den Betrieb von zwei Maschinen entsprechend.

25

Mit einem entsprechend vergrößerten Schaltaufwand läßt sich diese Methode auch auf mehr als drei Maschinen anwenden.

30

Die Methode kann ebenfalls angewendet werden, wenn mehrstufige Maschinen mit Zwischeneinspeisung parallel geschaltet sind und für jede einspeisung (Stufe) eine Lastverteilung gefordert ist.

35

Eine wesentlich einfachere Schaltung als in Figur 5 bis 7 gezeigt, ist in den Figuren 8 - 10 dargestellt.

1 Bei dieser Schaltung wird für jeden Druckregler eine  
Regeldifferenz "Druckregelung", d. h. Drucksollwert  
minus Druckistwert und eine Regeldifferenz Lastvertei-  
5 lungenregelung (Balanceregulung) gebildet. Die Regel-  
differenz "Lastverteilungsregelung" enthält analog zu  
der Beschreibung alle Korrekturgrößen, die zur aufgaben-  
gemäßen Verstellung der Drosselklappe erforderlich sind.  
Sind Druck- und Lastverteilungsregelung eingeschaltet,  
addieren sich die beiden Regeldifferenzen und ein Ab-  
10 gleich des Reglers erfolgt so lange, bis die Summe  
aller Differenzen null ist. Soll ein Regler ausgeschal-  
tet werden, wird durch einen Umschaltkontakt die ent-  
sprechende Eingangsgröße zu null geschaltet. Während  
eines solchen Umschaltvorgangs wird der Regler jeweils  
15 kurzzeitig auf Hand geschaltet.

Ein Handeingriff erfolgt durch den Handverstelleingang  
am Druckregler. Eine Verriegelung muß sicherstellen,  
daß die Balanceregler aller parallel betriebenen Ma-  
20 schinen stets gemeinsam einzuschalten sind, da sonst  
Betriebsfälle denkbar sind, bei denen die Regeldiffe-  
renz des Druckreglers den gleichen Betrag, aber umge-  
kehrtes Vorzeichen der Regeldifferenz des Balancereg-  
lers hat. Wenn nur ein Regler in Betrieb ist, kann dies  
25 zu einem vorgetäuschten Quasiabgleich führen. Ist der  
parallele Lastverteilungsregler auch in Eingriff, dessen  
Druckregler bekanntlich ausgeschaltet sein muß, erfolgt  
hierüber eine Kompensation und eine Befreiung aus dem  
Quasiabgleich.

30  
Ersichtlicherweise ist durch die erfindungsgemäße  
Regelung der Betrieb von zwei oder noch einer größeren  
Anzahl von Turbo-Kompressoren in verbesserter Weise  
und insbesondere sicherer möglich, ohne daß der regel-  
35 technische Aufwand erheblich wäre. Es kann also von  
einer idealen Lösung der anstehenden Probleme gesprochen  
werden.

1 P a t e n t a n s p r ü c h e :

1. Verfahren zum Betreiben von mindestens zwei parallel geschalteten Turbokompressoren, die jeweils zur Ver-  
5 hinderung des Pumpens mit einer Pumpgrenzregelung ver-  
sehen sind, d. h. daß bei ihnen vor Erreichen der  
Pumpgrenze beim Erreichen einer zu dieser parallel  
verlaufenden Abblaselinie durch Öffnen von Abblase-  
oder Umblaseventilen sichergestellt wird, daß ein  
10 Pumpen vermieden wird, und wobei die Turbokompresso-  
ren außerdem gemeinsam von Lastverteilungsreglern und  
einzeln von je einem Druckregler gesteuert werden,  
dadurch gekennzeichnet, daß die Lastverteilungs-  
regler die Einstellung der Kompressoren unterein-  
15 ander derart regeln, daß bei jedem gleiche Abstände  
des Betriebspunktes gegenüber der Abblaselinie vor-  
liegen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
20 daß nur einer der Kompressoren von seinem Druckreg-  
ler gesteuert wird und die übrigen über die Lastver-  
teilungsregelung nachgeführt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,  
25 daß bei dem von seinem Druckregler gesteuerten Kom-  
pressor der Druckregler auf Automatik gestellt wird,  
während die Druckregler der anderen Kompressoren auf  
Handbetrieb eingestellt werden.
- 30 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch  
gekennzeichnet, daß je eine Regeldifferenz der Druck-  
regelung und der Lastverteilungsregelung gebildet  
wird, diese Regeldifferenzen addiert werden und ein  
Abgleich solange erfolgt, bis die Summe der Differen-  
35 zen Null ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 für

1 Kompressoren mit mehreren Druckstufen, gekennzeichnet  
durch eine Anwendung bei jeder Druckstufe.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, für  
5 zweiflutige Kompressoren, gekennzeichnet durch eine  
Anwendung für jeden Teilstrom.

10

15

20

25

30

35

Fig.1

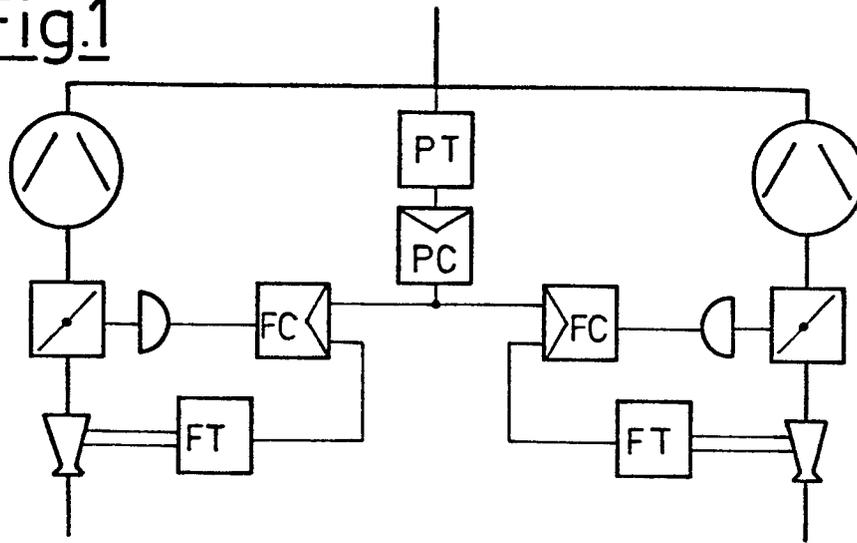


Fig.2

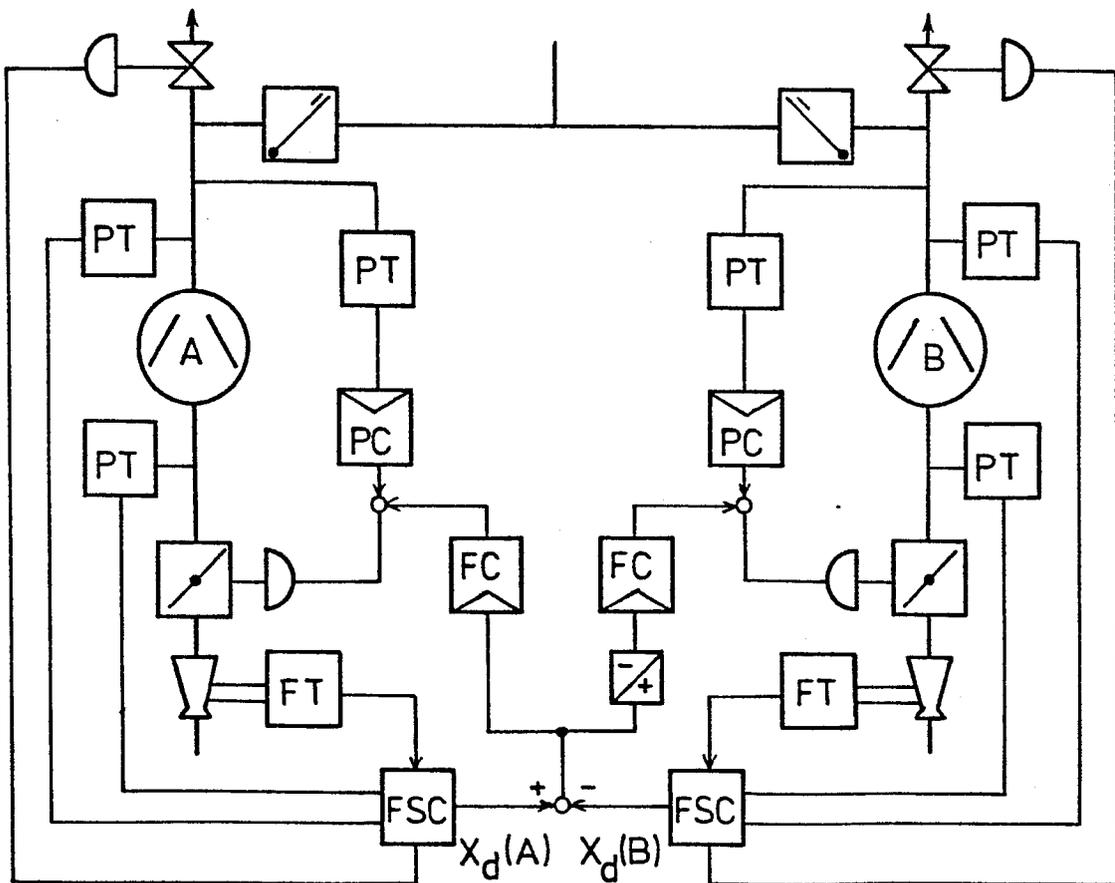


Fig.3

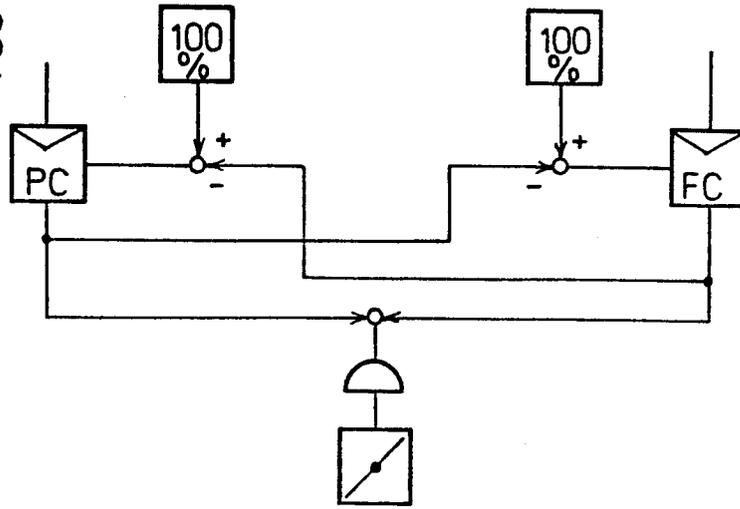


Fig.4

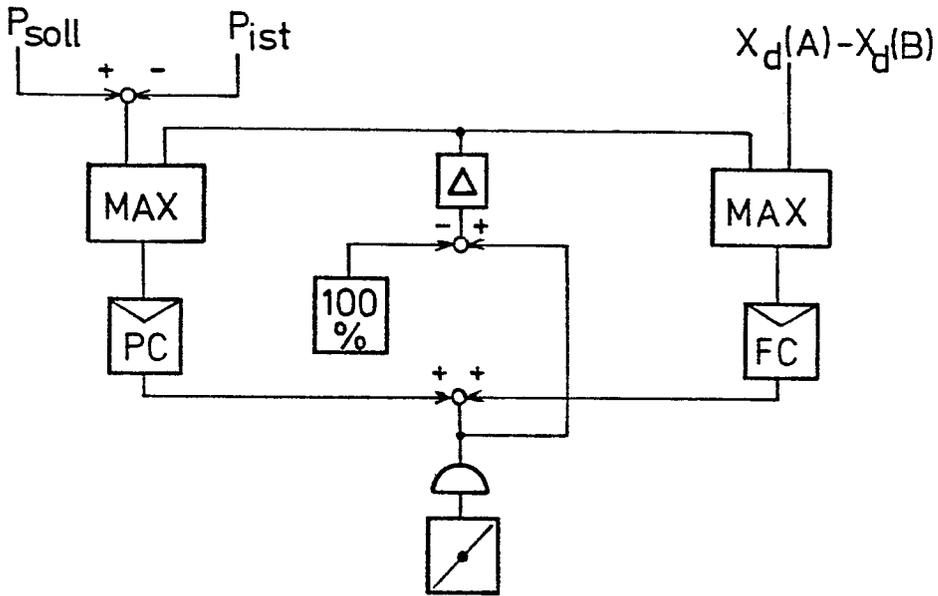


Fig.5

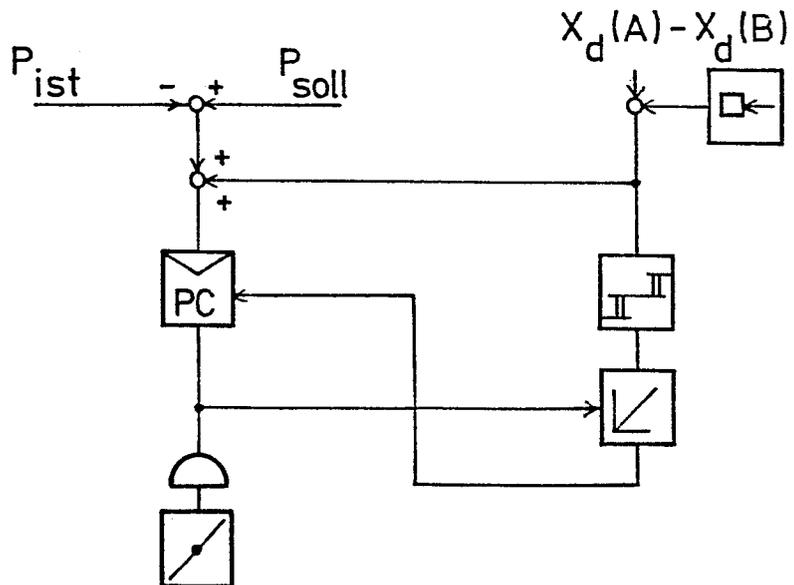


Fig.6

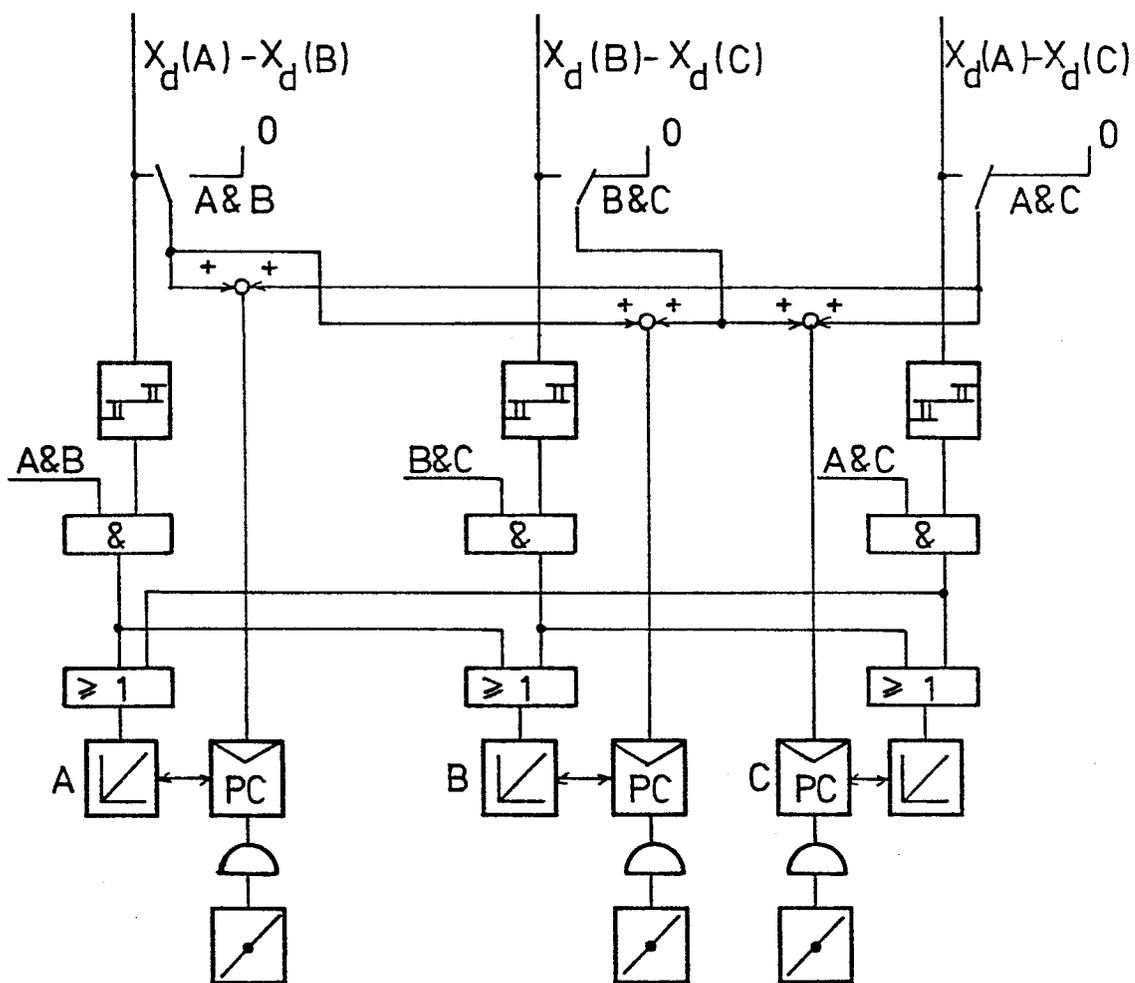


Fig.7

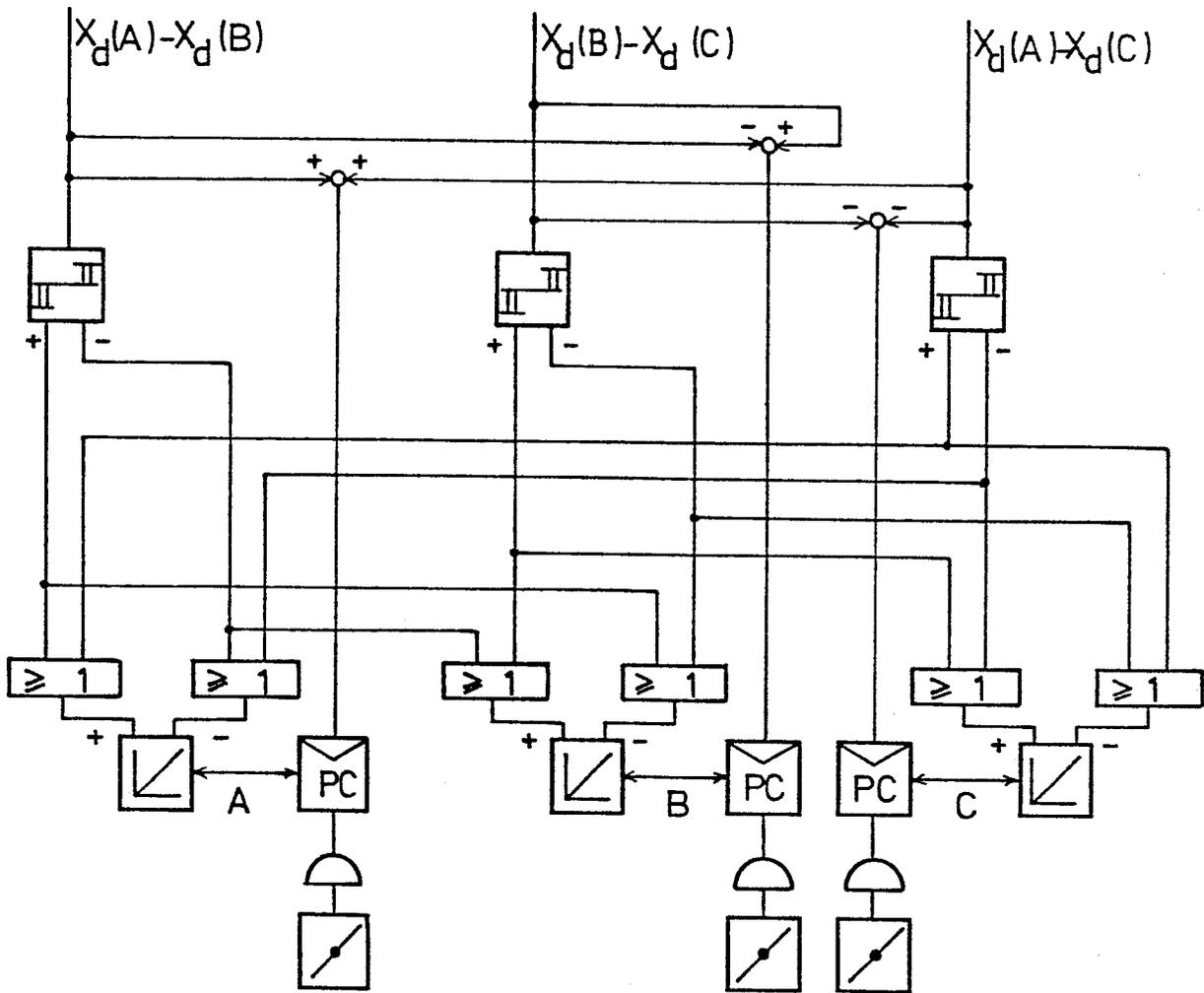


Fig.8

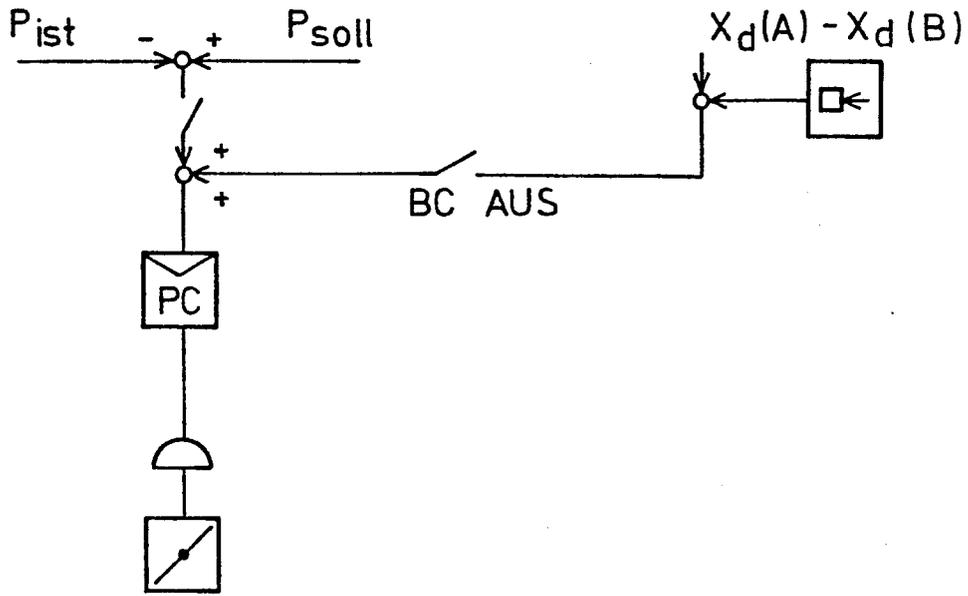


Fig.9

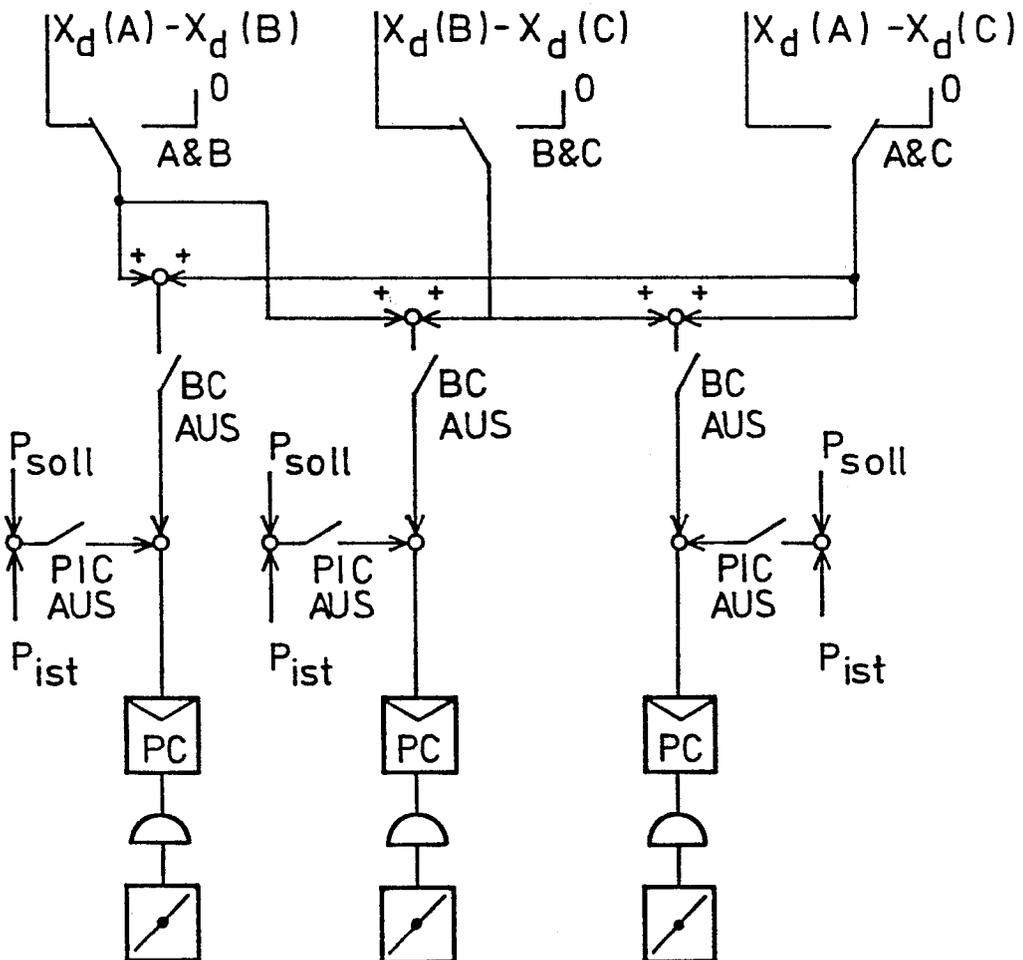


Fig. 10

