

⑬



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets

⑪

Veröffentlichungsnummer: **0 226 976**
B1

⑫

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

④

Veröffentlichungstag der Patentschrift:
07.06.89

⑤

Int. Cl. 4: **F04F 5/52**

⑥

Anmeldenummer: **86117325.0**

⑦

Anmeldetag: **12.12.86**

⑤

Verfahren zum Steuern des Druckverhältnisses einer Strahlpumpe.

⑩

Priorität: **21.12.85 DE 3545612**

④

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
01.07.87 Patentblatt 87/27

⑤

Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
07.06.89 Patentblatt 89/23

⑧

Benannte Vertragsstaaten:
BE DE FR IT NL SE

⑥

Entgegenhaltungen:
DE-A- 1 703 040
US-A- 2 140 306

**PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, Band 9,
Nr. 245 (M-418)[1968] 2. Oktober 1985; &
JP-A-60 98 200 (ASAHI ENTAAPURAIZU K.K.) 01-06-1985**
**PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, Band 9,
Nr. 233 (M-411)[1946] 10. September 1985; &
JP-A-60 81500 (SAKOU GIKEN K.K.) 09-05-1985**

⑦

Patentinhaber: **Henkel Kommanditgesellschaft auf
Aktien, Postfach 1100 Henkelstrasse 67,
D-4000 Düsseldorf-Holthausen(DE)**

⑦

Erfinder: **Ackermann, Hans, Am Nettchesfeld 12,
D-4000 Düsseldorf 13(DE)**
Erfinder: **Köcher, Ralf, Rudolf-Breitscheid-Strasse 53,
D-4000 Düsseldorf 13(DE)**
Erfinder: **Steinberger, Udo, Dr., Lortzingstrasse 67,
D-4010 Hilden(DE)**
Erfinder: **Michel, Otto, Am Bendenbusch 11,
D-4018 Langenfeld(DE)**

EP 0 226 976 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 ein Verfahren zum Steuern des Druckverhältnisses einer Strahlpumpe zwecks Regelung eines vorgegebenen Betriebsvakuums.

In einer Strahlpumpe, z.B. Treibdampf- oder Gasstrahlpumpe oder Wasserstrahlpumpe, wird die Strömungsenergie eines Treibmittels durch Düsen und Diffusoren zum Zwecke des Saugens bzw. Drückens eines zu fördernden Mittels ausgenutzt. Als Treib- und Fördermittel kommen Gase, Dämpfe und Flüssigkeiten in Frage. Strahlpumpen sind einfach herzustellen und besitzen keine bewegten Teile, sie haben jedoch einen relativ geringen Wirkungsgrad, der zudem bei Änderung der Betriebsbedingungen, z.B. der Drücke und Fördermengen, stark vermindert wird. Wegen der Schwierigkeit der in der Regel vermaschten bzw. mehrschweifigen Regelung einer Strahlpumpe werden solche Apparate in der Praxis mit konstantem Treibmitteldruck betrieben, die überschüssige Energie wird durch Drosselung, Fremdgaszugabe oder Inkaufnahme eines niedrigeren als des benötigten Unterdrucks bzw. Saugdrucks vernichtet.

Strahlpumpen, vorzugsweise Dampfstrahlpumpen, werden beispielsweise als Saugdruckerzeuger in der Vakuumdestillation eingesetzt. Bei derart komplizierten Anlagen soll gleichzeitig für eine Reihe von Regelgrößen ein vorgeschriebenes Verhalten erreicht werden. Diese Größen sind jedoch wechselseitig abhängig; ferner beeinflusst jeder regulierende Eingriff die anderen Regelgrößen im allgemeinen sogar mehr oder weniger stark; es können daher nicht getrennte sondern nur vermaschte Regler eingesetzt werden. Die mit solchen Mehrfachregelungen verbundene Problematik der Autonomie, Invarianz, Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit macht den Einsatz herkömmlicher P-, I-, PI-, PID-Regelungsverfahren und dergleichen zumindest aus wirtschaftlichen Gründen illusorisch.

Das Mengenverhältnis $G1/G2$ von Treibmittelmengen $G1$ zu Fördermittelmengen $G2$ ist bei einer Strahlpumpe mit gegebenen Abmaßen eine Funktion von

P_e = Treibmitteldruck;

P_a = Druck am Austritt der Strahlpumpe;

und

P_o = Saugdruck.

Bei vorgegebenem Saugdruck P_o und vorgegebener Fördermittelmengen $G2$ ist die erforderliche Treibmittelmengen $G1$ daher nur noch abhängig von einer Funktion von P_e und P_a . Da diese Funktion die Form eines Druckverhältnisses besitzt, wird im gattungsgemäßen Verfahren unter dem Begriff "Steuern des Druckverhältnisses" das Steuern von P_e und/oder P_a verstanden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, mit dem der im Fördermittel erzeugte Saugdruck durch Veränderung des Treibmitteldrucks und damit der Treibmittelmengen innerhalb vorgegebener Grenzen und Zeiten konstant zu halten und in dem der Energieverbrauch optimal niedrig zu halten ist. Die erfindungsgemäße Lösung

besteht darin, daß aus dem kontinuierlich gemessenen Wert des Betriebsvakuums durch rechnergestütztes iteratives schrittweises Ändern eines vorhandenen Wertes des Druckverhältnisses ein Sollwert für das Druckverhältnis ermittelt wird.

Dadurch, daß erfindungsgemäß der Istwert des Betriebsvakuums gemessen, durch die rechnergestützte iterative Änderung zu einer Ausgangsgröße verarbeitet und diese als Stellgröße für den Treibmitteldruck, d.h. für die pro Zeiteinheit der Strahlpumpe zugeführte Treibmittelmengen, verwendet wird, läßt sich der Treibmitteldruck den Erfordernissen auf der Vakuumseite immer optimal anpassen. Auf diese Weise läßt sich beispielsweise in einer Vakuumdestillations- oder Vakuumdeindampfanlage eine Energieeinsparung von bis zu 50% im Vergleich zu herkömmlicher Betriebsweise erzielen. Gemäß weiterer Erfindung kann der durch Berechnung ermittelte Sollwert für das Druckverhältnis in Form eines Stellwertes für den Treibmitteldruck einem in der Leitung des Treibmittels liegenden Regelventil zugeführt oder als Führungsgröße für den Treibmitteldruck und/oder Ausgangsdruck in zugeordneten Regelkreisen verwendet werden.

Vorzugsweise wird die iterative Änderung durch die Anwendung eines Algorithmus in Verbindung mit einem Rechner bewirkt. Gegebenenfalls wird der Sollwert dadurch ermittelt, daß man den Algorithmus vom Rechner mit der ihm eigenen Geschwindigkeit endlos wiederholt. Das bedeutet, bei Änderungen seiner Eingangsgröße, nämlich des gemessenen Wertes des Saugdrucks, die Ausgangsgröße, nämlich die Stellgröße für den Treibmitteldruck, so lange zu verändern, bis sich der Wert der Eingangsgröße wieder innerhalb der vorgegebenen Grenzen befindet. Die Ausgangsgröße des Rechners ist daher kein Wert, der in einem festen funktionellen Zusammenhang zu der Eingangsgröße steht, sondern ergibt sich durch die iterative Erhöhung oder Erniedrigung der jeweils vorher vorhandenen Ausgangsgröße.

Zusätzlich ist es günstig, wenn nach jeder schrittweisen Veränderung des Sollwertes eine der Totzeit des Systems entsprechende Wartezeit eingehalten wird. Schließlich soll die Änderungsgeschwindigkeit des Sollwertes an die Größe und Änderungsgeschwindigkeit der Soll-Istwertabweichung des Betriebsvakuums in vorwählbaren Grenzen angepaßt werden. Vorzugsweise wird dazu ein Algorithmus mit verschiedenen Bearbeitungszweigen für verschiedene Bereiche der Soll-Istwertabweichung des Betriebsvakuums und deren Änderungsgeschwindigkeit verwendet. Auf diese Weise wird es möglich, die Änderungsgeschwindigkeit der Ausgangsgröße an diejenige der Eingangsgröße in vorwählbaren Grenzen anzupassen.

Anhand der schematischen Zeichnung werden Einzelheiten der Erfindung erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm betreffend die Abhängigkeit des Mengenverhältnisses von Treibmittelmengen und Fördermittelmengen vom Treibmitteldruck, Austrittsdruck und Saugdruck einer Strahlpumpe;

Fig. 2 eine Vorrichtung zur Vakuumherzeugung bei einer Vakuumdestillation; und

Fig. 3 ein Fließbild eines Algorithmus zum iterativen Bestimmen eines Stellwerts.

In Fig. 1 werden in der Ordinate das Mengerverhältnis $G1/G2$ von Treibmittelmenge $G1$ und Fördermittelmenge $G2$ sowie in der Abszisse das Druckverhältnis $f(p)$ aufgetragen. Letzteres ist eine Funktion des Treibmitteldrucks P_e , des Drucks P_a am Austritt der Strahlpumpe und des Saugdrucks P_o . Bei einer mit Flüssigkeit betriebenen Strahlpumpe ist das Druckverhältnis wie folgt definiert:

$$f_F(p) = \frac{P_a - P_o}{P_e - P_o}$$

Demgegenüber ergibt sich bei Betrieb der Strahlpumpe mit einem Gas für das Druckverhältnis der Zusammenhang

$$f_G(p) = \frac{\left(\frac{P_a}{P_o}\right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}} - 1}{1 - \left(\frac{P_o}{P_e}\right)^{\frac{\alpha-1}{\alpha}}}$$

Darin ist α der Adiabatenexponent des Gases. Bei Dampf treten analog zur Funktion $f_F(p)$ anstelle der Druckgefälle die entsprechenden Enthalpiegefälle (h,s -Diagramm).

In dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel wird der Vakuumbehälter 1 einer Destillationskolonne, die mit einem Kühler 2, einer Destillatvorlage 3, einem Flüssigkeitssumpf 4, einer Heizung 5 und einer Flüssigkeitszufuhrleitung 6 ausgestattet sein kann, über eine Fördermittelleitung 7 mit einer Dampfstrahlpumpe 8 verbunden. In der Strahlpumpe 8 wird der Unterdruck dadurch erzeugt, daß man ein Treibmittel über eine Treibmittelleitung 9 mit großer Geschwindigkeit durch eine Treibdüse preßt mit dem Ergebnis, daß der Druck am Düsenausgang stark herabgesetzt und das dort anstehende Fördermittel angesaugt wird. Hierdurch wiederum wird in dem Behälter 1 befindliches Gas abgesaugt und im Behälter ein Saugdruck P_o eingestellt. Der Saugdruck darf wegen der Druckabhängigkeit der Siedetemperatur der im Behälter 1 befindlichen Flüssigkeit 4 einen bestimmten Maximalwert nicht überschreiten. Es sollen oder können aber auch bestimmte Minimalwerte eingehalten werden. Der Istwert des im Behälter 1 erzeugten Saugdrucks P_o wird daher mit Hilfe eines Vakuum-Meßgeräts 11 gemessen und einem mit 12 bezeichneten Rechner mit Algorithmus als Eingangsgröße zugeführt. In dem Rechner 12 wird die Eingangsgröße des Saugdrucks P_n durch den Algorithmus zu einer Ausgangsgröße verarbeitet, die wiederum als Sollwert oder Stellgröße für den Treibmitteldruck P_e der Strahlpumpe 8

dient.

Im Ausführungsbeispiel wird die Stellgröße über eine direkte Leitung 13 auf ein in der Treibmittelleitung 9 liegendes Stell- bzw. Regelventil 14 geschaltet. Alternativ kann der im Rechner 12 ermittelte Sollwert des Treibmitteldrucks auch einem zwischengeschalteten Treibmitteldruckregler 15 zugeführt werden. Die gegebenenfalls dafür erforderlichen Wirkleitungen des Druckreglers 15 werden in der Zeichnung gestrichelt dargestellt. Die Informationsrichtung wird durch Pfeile angedeutet. Der Ausgang 16 der Strahlpumpe führt beim Betrieb mit Dampf in entsprechende Kondensatsysteme, die gegebenenfalls vorevakuiert sind.

Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Fließbilds des in dem Rechner 12 zu verwendenden Algorithmus. Hierbei werden zur besseren Verständlichkeit für sämtliche Parameter konkrete Zahlenwerte angegeben. Diese Werte sind jedoch nur als Beispiel anzusehen. In der Zeichnung bedeuten P_o den durch das Meßgerät 11 erfaßten Saugdruck im Behälter 1, P_e den über die Treibmittelleitung 9 der Strahlpumpe 8 zugeführten Treibmitteldruck und ΔP_o die Differenz zum vorhergehenden Meßwert des Unterdrucks P_o .

Am Start des Algorithmus wird der jeweilige Meßwert des erzeugten Saugdrucks P_o , also die vom Vakuummeßgerät 11 bestimmte Eingangsgröße auf den Rechner 12 gegeben. Der als Beispiel dargestellte Algorithmus besitzt zwei Hauptbearbeitungszweige A und B, die je nach Größe der Änderungsgeschwindigkeit und der Sollwert/Istwert-Abweichung der Rechner-Eingangsgröße auszuwählen sind. Durch Auswahl und Ausgestaltung der Zweige A, B ist es möglich, die Änderungsgeschwindigkeit der Ausgangsgröße in vorwählbaren Grenzen an diejenige der Eingangsgröße anzupassen. In beiden Fällen ergibt sich die Ausgangsgröße P_e des Rechners 12 durch iterative Erhöhung oder Erniedrigung der jeweils vorhandenen Ausgangsgröße P_e und berücksichtigt durch eine vorgegebene Wartezeit zusätzlich die durch die Anlage bedingte Totzeit des Systems.

Nach Ermittlung der Ausgangsgröße des Rechners 12 wird der Algorithmus mit der ihm eigenen Geschwindigkeit endlos wiederholt. In Fig. 3 wird diese Endlosschleife durch das Start-Zeichen am Fuß des Fließbilds angedeutet.

50 Bezugszeichenliste

- 1 = Behälter
- 2 = Kühler
- 3 = Destillatvorlage
- 4 = Flüssigkeitssumpf
- 5 = Heizung
- 6 = Flüssigkeitszufuhrleitung
- 7 = Fördermittelleitung
- 8 = Strahlpumpe
- 9 = Treibmittelleitung
- 11 = Vakuummeßgerät
- 12 = Rechner
- 13 = Stellgrößenleitung
- 14 = Regelventil
- 15 = Druckregler

16 = Ausgang Strahlpumpe
 17 = Kondensator Treibdampf
 18 = barometrisches Tauchgefäß Strahlpumpe
 19 = Wasserringpumpe
 20 = Wasserabscheider
 21 = atmosphärischer Ausgang
 22 = Druckmeßgerät
 Po = Saugdruck
 Pe = Treibmitteldruck
 Pa = Druck am Austritt der Strahlpumpe
 Pu = Unterdruck Destillierapparat
 G1 = Treibmittelmenge
 G2 = Fördermittelmenge
 f(p) = Druckverhältnis
 A,B = Hauptbearbeitungsarme

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung des Druckverhältnisses $f(p)$ einer Strahlpumpe zur Regelung eines vorgegebenen Betriebsvakuums, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem kontinuierlich gemessenen Wert des Betriebsvakuums durch rechnergestützte iterative, schrittweise Änderung eines vorhandenen Wertes des Druckverhältnisses $f(p)$ ein Sollwert für das Druckverhältnis ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert für das Druckverhältnis in Form eines Stellwertes für den Treibmitteldruck P_e einem in der Leitung (9) des Treibmittels liegendem Regelventil (14) zugeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert für das Druckverhältnis $f(p)$ als Führungsgröße für den Treibmitteldruck P_e und/oder Ausgangsdruck P_a in zugeordneten Regelkreisen (15) verwendet wird.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die iterative schrittweise Änderung des Sollwertes durch die Anwendung eines Algorithmus bewirkt wird.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert dadurch ermittelt wird, daß der Algorithmus von einem entsprechenden Rechner (12) endlos wiederholt wird.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Änderungs- und Änderungsgeschwindigkeit des Sollwertes an die Größe und Änderungsgeschwindigkeit der Soll-Istwertabweichung des Betriebsvakuums in vorwählbaren Grenzen angepaßt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein Algorithmus mit verschiedenen Bearbeitungsarmen (A, B) für verschiedene Bereiche der Soll-Istwertabweichung des Betriebsvakuums und deren Änderungsgeschwindigkeit verwendet wird.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß nach jeder schrittweisen Veränderung des Sollwertes eine der Totzeit des Systems entsprechende Wartezeit eingehalten wird.

Claims

1. Method for the control of the pressure ratio $f(p)$ of a jet pump for the regulation of a predetermined operating vacuum, characterised thereby, that a target value for the pressure ratio is determined from the continuously measured value of the operating vacuum by computer-aided iterative, stepwise changing of a present value of the pressure ratio $f(p)$.

2. Method according to claim 1, characterised thereby, that the target value for the pressure ratio is conducted in the form of a setting value for the propellant pressure P_e to a regulating valve (14) lying in the duct (9) of the propellant.

3. Method according to claim 1, characterised thereby, that the target value for the pressure ratio $f(p)$ is used in associated regulating circuits (15) as reference magnitude for the propellant pressure P_e and/or output pressure P_a .

4. Method according to one or more of the claims 1 to 3, characterised thereby, that the iterative, stepwise changing of the target value is effected by the application of an algorithm.

5. Method according to one or more of the claims 1 to 4, characterised thereby, that the target value is determined thereby, that the algorithm is repeated endlessly by an appropriate computer (12).

6. Method according to one or more of the claims 1 to 5, characterised thereby, that the rate of change of the target value is adapted within preselectable limits to the magnitude and rate of change of the deviation of the actual value of the operating vacuum from the target value thereof.

7. Method according to claim 6, characterised thereby, that an algorithm with different operating branches (A, B) is used for different ranges of the deviation of the actual value of the operating vacuum from the target value thereof and the rate of change of the deviation.

8. Method according to one or more of the claims 1 to 7, characterised thereby, that a waiting time corresponding to the dead time of the system after each stepwise change in the target value.

Revendications

1. Procédé de contrôle du rapport de compression $f(p)$ d'une pompe d'éjection pour réguler un vide d'exploitation prédéterminé, caractérisé par le fait qu'une valeur de consigne du rapport de compression est déterminée d'après la valeur du vide d'exploitation mesurée de façon continue par modification progressive itérative contrôlée par un calculateur d'une valeur existante du rapport de compression $f(p)$.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la valeur de consigne du rapport de compression $f(p)$ est appliquée à une soupape de réglage (14) située dans la conduite (9) du carburant sous forme de valeur de réglage de la pression du carburant P_e .

3. Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la valeur de consigne du rapport de compression $f(p)$ est utilisée en tant que valeur gui-

de pour la pression du carburant P_e et/ou pour la pression de sortie P_a dans les circuits de régulation (15) prévus à cet effet.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que la modification progressive itérative de la valeur de consigne est effectuée en utilisant un algorithme. 5

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que la valeur de consigne est déterminée par le fait que l'algorithme est répété sans discontinuer par un calculateur (12) prévu à cet effet. 10

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que, dans des limites que l'on peut sélectionner au préalable, on adapte la vitesse de modification de la valeur de consigne à la grandeur et à la vitesse de modification de l'écart des valeurs de consigne et des valeurs réelles. 15

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé par le fait que l'on utilise un algorithme sur différentes branches de travail (A, B) pour différentes plages d'écart entre les valeurs de consigne et les valeurs réelles du vide d'exploitation et de leur vitesse de modification. 20 25

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé par le fait que l'on observe un temps d'attente correspondant au temps mort du système après chaque modification progressive de la valeur de consigne. 30

35

40

45

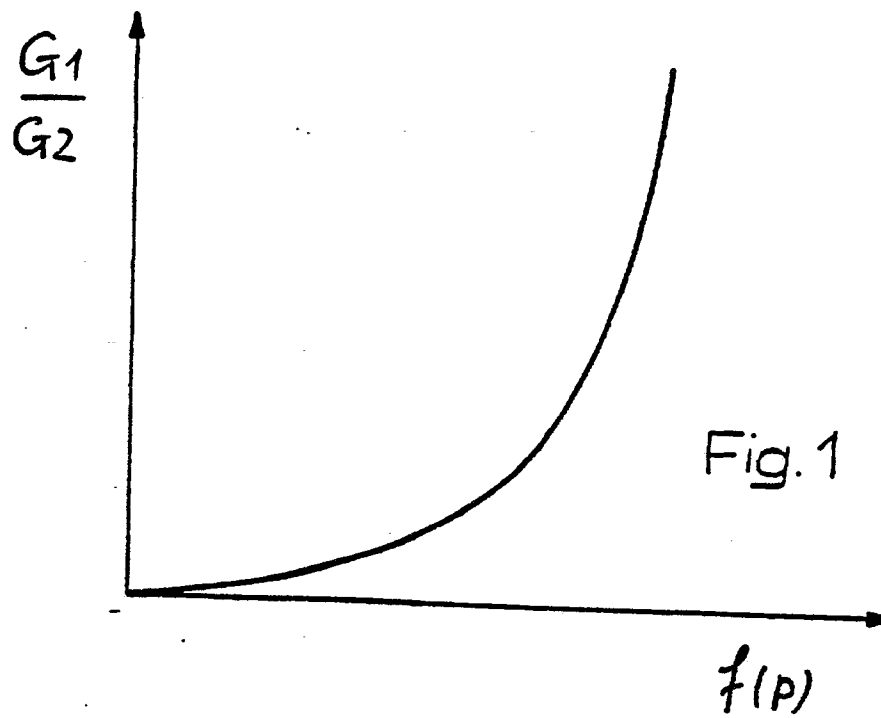
50

55

60

65

5



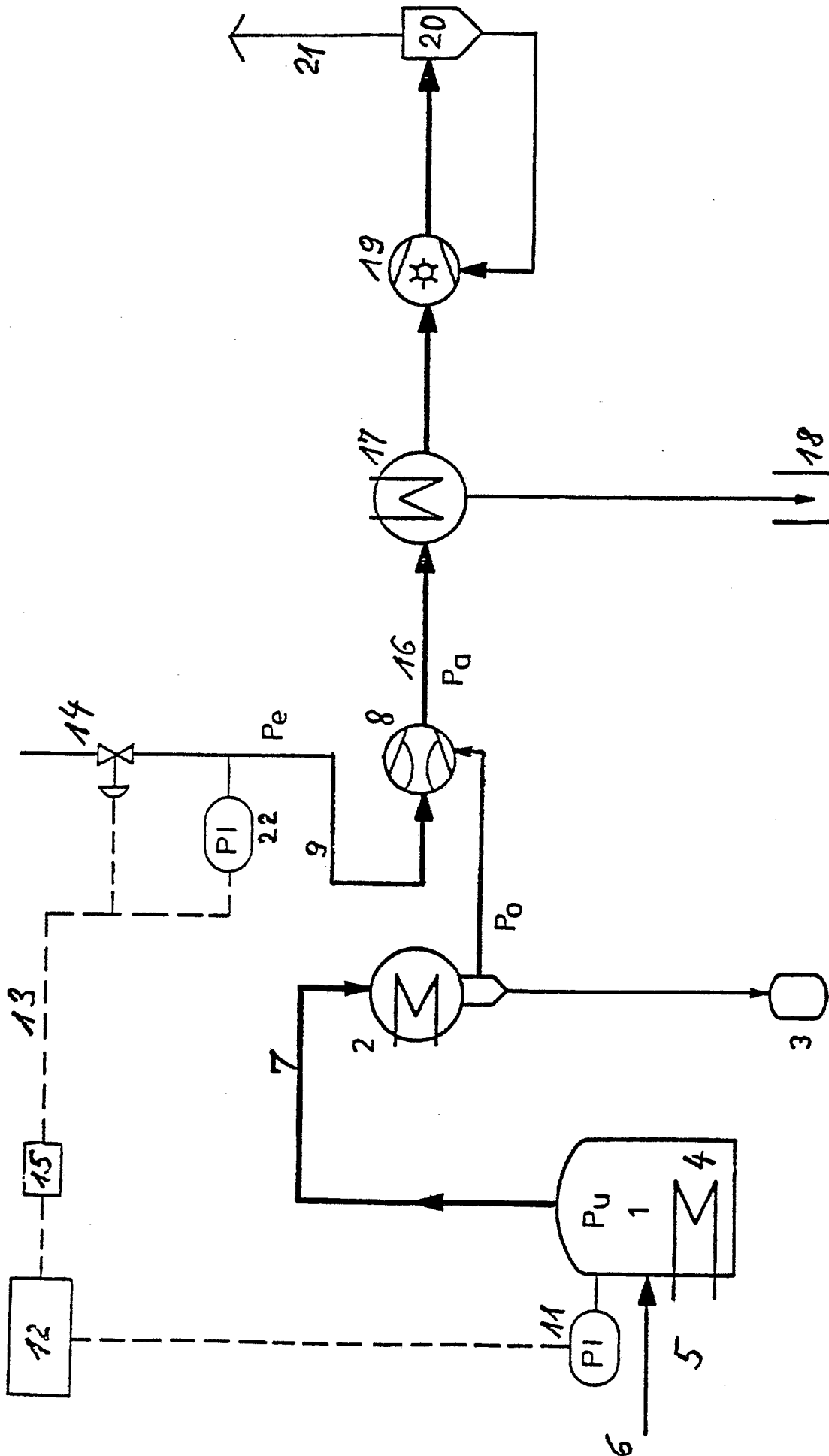


Fig. 2

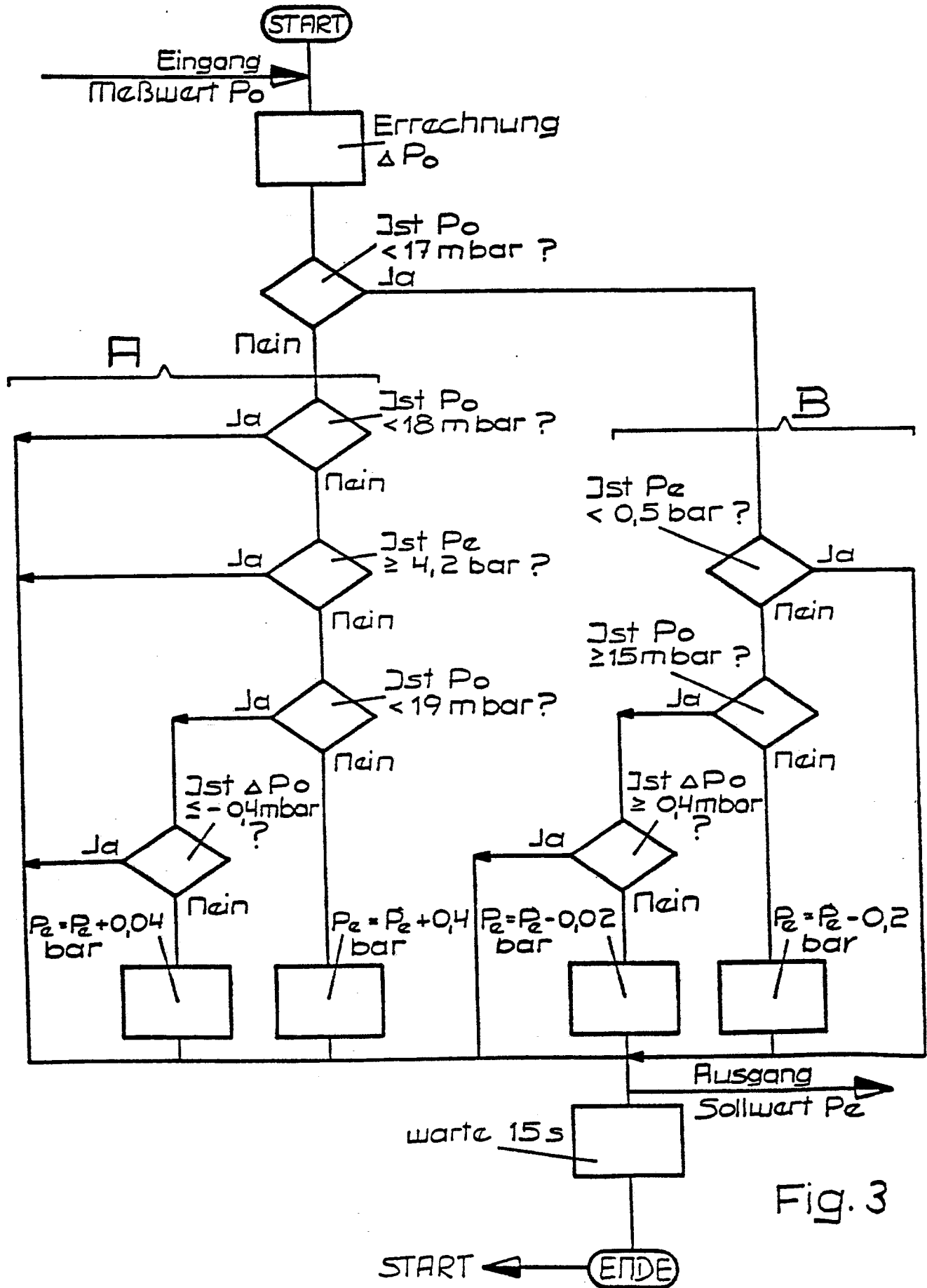


Fig. 3