

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer:

**0 226 976
A1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 86117325.0

(51) Int. Cl.4: **F04F 5/52**

(22) Anmeldetag: 12.12.86

(30) Priorität: 21.12.85 DE 3545612

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
01.07.87 Patentblatt 87/27(84) Benannte Vertragsstaaten:
BE DE FR IT NL SE(71) Anmelder: **Henkel Kommanditgesellschaft auf
Aktien**
Postfach 1100 Henkelstrasse 67
D-4000 Düsseldorf-Holthausen(DE)(72) 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)(54) **Verfahren zum Steuern des Druckverhältnisses einer Strahlpumpe.**

(57) In einer Strahlpumpe kann der erzeugte Saugdruck (P_0) durch Verändern des Druckverhältnisses $f(p)$ innerhalb vorgegebener Grenzen und Zeiten konstant gehalten werden, wenn durch rechnergestützte iterative Änderung eines vorhandenen Wertes des Druckverhältnisses $f(p)$ bei Anwendung eines Algorithmus und Einsatz eines gemessenen Wertes des Fördermitteldrucks (P_e) ein Sollwert für das Druckverhältnis $f(p)$ bestimmt wird.

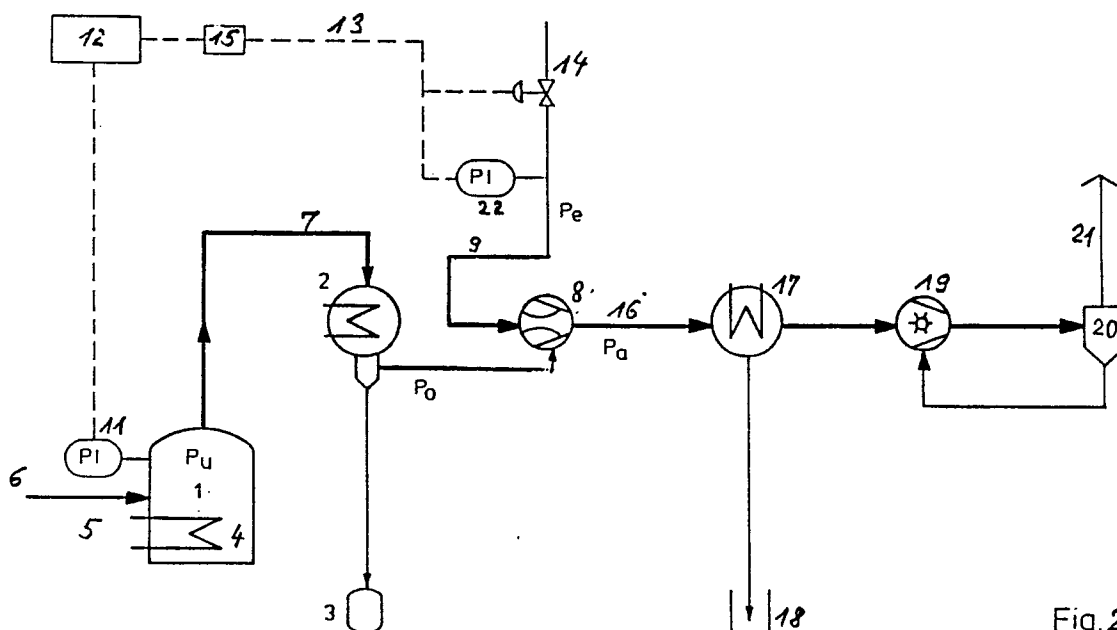


Fig. 2

EP 0 226 976 A1

"Verfahren zum Steuern des Druckverhältnisses einer Strahlpumpe"

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern des Druckverhältnisses einer Strahlpumpe zwecks Regelung eines vorgegebenen Betriebsvakuums.

In einer Strahlpumpe, z.B. Treibdampfpumpe, 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 derartig 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 Treibmittelmenge $G1$ zu Fördermittelmenge $G2$ 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 Fördermittelmenge $G2$ ist die erforderliche Treibmittelmenge $G1$ 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 Treibmittelmenge 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 Treibmittelmenge, verwendet wird, läßt sich der Treibmitteldruck den Erfordernissen auf der Vakuumseite immer optimal anpassen. Auf diese Weise läßt sich beispielsweise in einer Vakuumdestillations- oder Vakuumverdampfanlage 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 Betriebsvakuum in vorwählbaren Grenzen angepaßt werden. Vorzugsweise wird dazu ein Algorithmus mit verschiedenen

5 Bearbeitungszweigen für verschiedene Bereiche der Soll-Istwertabweichung des Betriebsvakuum 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 G_1/G_2 von Treibmittelmengen G_1 und Fördermittelmengen G_2 sowie in der Abszisse das Druckverhältnis $f(p)$ aufgetragen. Letzteres ist eine

15 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:

$$20 \quad f_F(p) = \frac{P_a - P_o}{P_e - P_o}$$

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

25 Zusammenhang

$$30 \quad f_G(p) = \frac{\left(\frac{P_a}{P_o}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1}{1 - \left(\frac{P_o}{P_e}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}$$

35

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

40 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 Fördermittelzufuhrleitung 7 mit einer Dampfstrahlpumpe 8 verbunden. In der Strahlpumpe 8 wird der Unterdruck dadurch erzeugt, daß man ein Treibmittel über eine Treibmitteleitung 9 mit großer Geschwindigkeit durch eine Treibdüse preßt mit dem

45 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

50 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 Treibmitteleitung 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.

Bezugszeichenliste

	1 = Behälter
	2 = Kühler
25	3 = Destillatvorlage
	4 = Flüssigkeitssumpf
	5 = Heizung
	6 = Flüssigkeitszuführleitung
	7 = Fördermittelleitung
30	8 = Strahlpumpe
	9 = Treibmittelleitung
	11 = Vakuummeßgerät
	12 = Rechner
	13 = Stellgrößenleitung
35	14 = Regelventil
	15 = Druckregler
	16 = Ausgang Strahlpumpe
	17 = Kondensator Treibdampf
	18 = barometrisches Tauchgefäß Strahlpumpe
40	19 = Wasserringpumpe
	20 = Wasserabscheider
	21 = atmosphärischer Ausgang
	22 = Druckmeßgerät
	P_o = Saugdruck
45	P_e = Treibmitteldruck
	P_a = Druck am Austritt der Strahlpumpe
	P_u = Unterdruck Destillierapparat
	G_1 = Treibmittelmenge
	G_2 = Fördermittelmenge
50	$f(p)$ = Druckverhältnis
	A,B = Hauptbearbeitungszweige

Ansprüche

1. Verfahren zur Steuerung des Druckverhältnisses $f(p)$ einer Strahlpumpe zur Regelung eines vorgegebenen Betriebsvakuum, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem kontinuierlich gemessenen Wert des Betriebsvakuum 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 Änderungsge schwindigkeit des Sollwertes an die Größe und Änderungsgeschwindigkeit der Soll-Istwertabweichung des Betriebsvakuum in vorwählbaren Grenzen angepaßt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein Algorithmus mit verschiedenen Bearbeitungszweigen (A, B) für verschiedene Bereiche der Soll-Istwertabweichung des Betriebsvakuum 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.

30

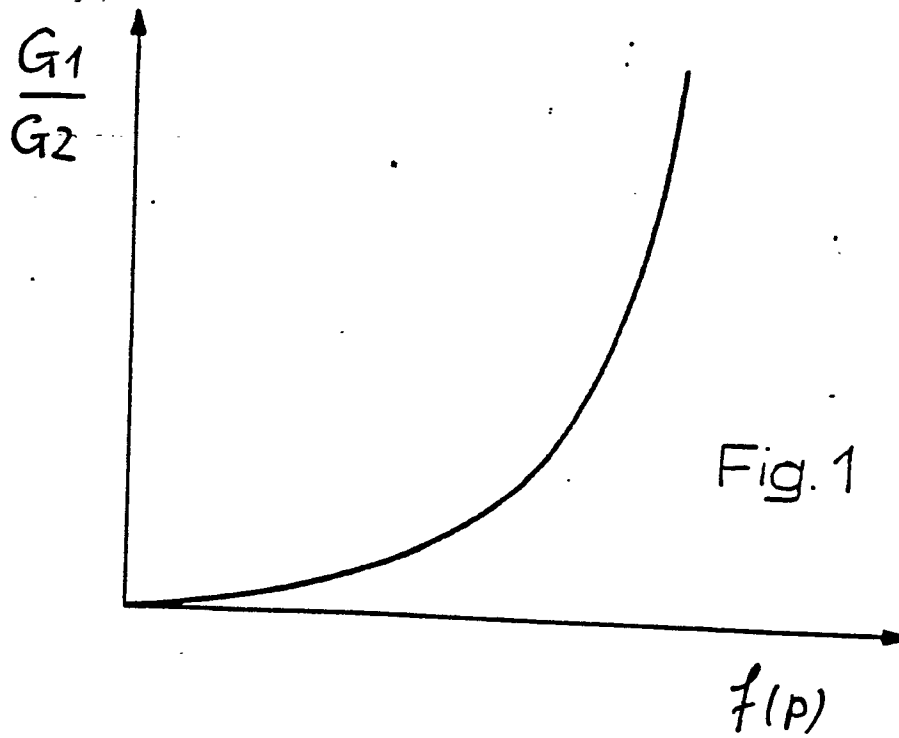
35

40

45

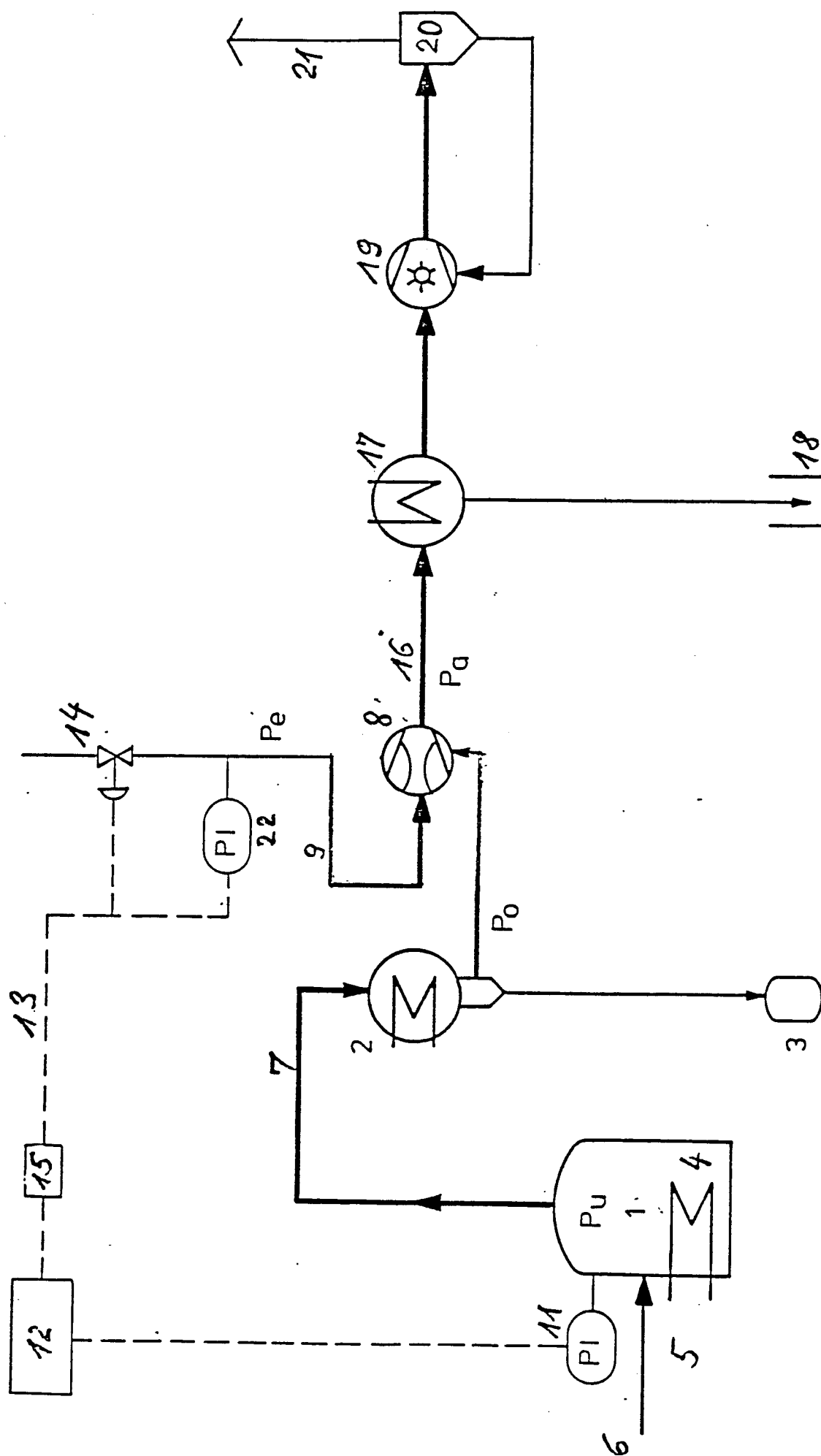
50

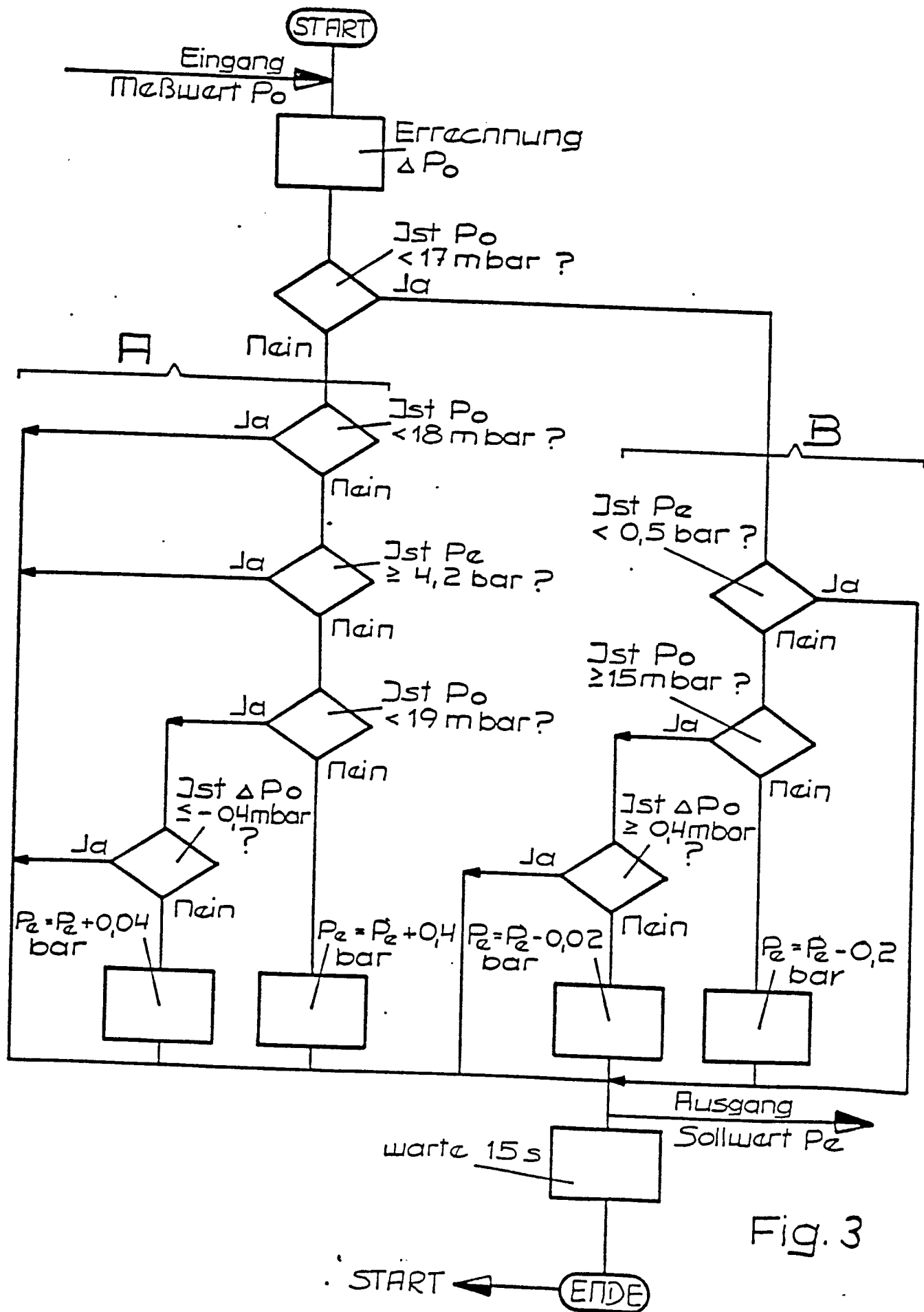
55



13 14 15

Fig. 2







EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE																	
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 4)														
A	PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, Band 9, Nr. 245 (M-418)[1968] 2. Oktober 1985; & JP-A-60 98 200 (ASAHI ENTAPURAIZU K.K.) 01-06-1985 * Insgesamt *	1,2	F 04 F 5/52														
A	--- PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, Band 9, Nr. 223 (M-411)[1946] 10. September 1985; & JP-A-60 81500 (SAKOU GIKEN K.K.) 09-05-1985 * Insgesamt *	1,2															
A	--- US-A-2 140 306 (BEALS)																
A	--- DE-A-1 703 040 (KÖRTING)																

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.																	
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 23-03-1987	Prüfer THIBO F.														
<table border="0"><tr><td>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</td><td>E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</td></tr><tr><td>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet</td><td>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument</td></tr><tr><td>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie</td><td>L : aus andern Gründen angeführtes Dokument</td></tr><tr><td>A : technologischer Hintergrund</td><td></td></tr><tr><td>O : nichtschriftliche Offenbarung</td><td></td></tr><tr><td>P : Zwischenliteratur</td><td></td></tr><tr><td>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze</td><td>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</td></tr></table>				KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE	E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument	Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	L : aus andern Gründen angeführtes Dokument	A : technologischer Hintergrund		O : nichtschriftliche Offenbarung		P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze	& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE	E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist																
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument																
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	L : aus andern Gründen angeführtes Dokument																
A : technologischer Hintergrund																	
O : nichtschriftliche Offenbarung																	
P : Zwischenliteratur																	
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze	& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument																