



(19) Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: 0 194 474 B1

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

- (45) Veröffentlichungstag der Patentschrift: 27.10.93      (51) Int. Cl. 5: F04D 15/02, F17D 1/20,  
 F17D 1/07
- (21) Anmeldenummer: 86102057.6
- (22) Anmeldetag: 18.02.86

(54) Verfahren zur Kavitations-Einstellung.

- (30) Priorität: 14.03.85 DE 3509072
- (43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
17.09.86 Patentblatt 86/38
- (45) Bekanntmachung des Hinweises auf die  
Patenterteilung:  
27.10.93 Patentblatt 93/43
- (84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE
- (56) Entgegenhaltungen:  
EP-A- 0 107 572  
EP-A- 0 171 094  
CH-A- 528 076  
DE-A- 3 236 815

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, Band 8, Nr.  
37 (M-277)[1474], 17. Februar 1984

MACHINE DESIGN, Band 50, Nr. 5, 9. März  
1978, Seiten 97-99; Z. ZAHID:  
"Suctionaccumulators boost pump life"

- (73) Patentinhaber: Metzger, Klaus  
Vionvillestrasse 15  
D-31134 Hildesheim(DE)
- (72) Erfinder: Metzger, Klaus  
Vionvillestrasse 15  
D-31134 Hildesheim(DE)

- (74) Vertreter: Thömen, Uwe, Dipl.-Ing.  
Patentanwalt U. Thömen  
Zeppelinstrasse 5  
D-30175 Hannover (DE)

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingeleitet, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung von Förderaggregaten für den Transport von Flüssigkeiten und/oder Gasen in Rohrleitungen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

In vielen Bereichen der Technik kommt der Förderung von Flüssigkeiten und/oder Gasen eine große Bedeutung zu, und als ein Beispiel seien hier die Eindampfanlagen im Bereich der Molkereiwirtschaft genannt.

Für den Transport bzw. für die Förderung werden allgemein Förderaggregate in Verbindung mit Rohrleitungen eingesetzt, wobei etwa Zentrifugalpumpen, Verdrängerpumpen oder auch Wasser-ringpumpen (Vakuumpumpen) zu nennen sind.

Grundsätzlich bereitet der Transport von Flüssigkeiten zwar keine technischen Schwierigkeiten, allerdings mit Ausnahme der bekannten Kavitation, deren schädliche Einwirkungen auf das jeweilige Förderaggregat und auch auf die Rohrleitungen immer noch ein gravierendes Problem darstellen.

Der Begriff Kavitation (Hohlsogbildung, Hohlräumbildung) beschreibt eine Erscheinung, die dann auftritt, wenn der Druck in einer Flüssigkeit z.B. infolge zu großer Geschwindigkeit an einigen Stellen auf den Verdampfungsdruck absinkt. Die dabei entstehenden Dampfblasen stürzen bei höherem Druck wieder zusammen, und die damit verbundenen "Schläge" führen zu erheblichen Beanspruchungen des Förderaggregates und der Rohrleitungen.

Es können sich also - insbesondere bei Flüssigkeiten, deren Betriebstemperaturen nahe am Siedepunkt liegen - bei Unterschreitung des Siededruckes Dampfblasen bilden. Nach der durch das Förderaggregat hervorgerufenen Druckerhöhung wird der Siededruck wieder überschritten, die Dampfblasen fallen zusammen, und es tritt die schädliche Kavitation ein (vgl. KSB "Kreiselpumpenlexikon" 2. Auflage, Seite 121 - 122 und Fuchslocher/Schulz "Die Pumpen", Springer Verlag 1965, Seite 100 - 109).

In der Praxis macht sich die Kavitation durch ein Ansteigen des Geräuschpegels sowie durch einen unruhigen Lauf des Förderaggregates bemerkbar. Dabei kann auch ein sogenanntes pulsierendes Arbeiten auftreten. Einhergehend damit werden die Förderbedingungen erheblich verschlechtert, so daß der Wirkungsgrad des Förderaggregates absinkt. Schließlich kann die Kavitation sogar zur Materialzerstörung führen (vgl. die voranstehend genannten Literaturstellen).

Um den geschilderten schädlichen Wirkungen der Kavitation zu begegnen, hat man sich bisher in der Praxis meistens damit beholfen, bestimmte Meßgrößen, wie die Temperatur der Flüssigkeit oder das Niveau bzw. die Zulaufhöhe zu kontrollie-

ren und in Abhängigkeit dieser Größe eine manuelle Einstellung des Förderaggregates vorzunehmen. Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß ein solches Verfahren sehr aufwendig ist und zudem auch unter der Gefahr einer Ungenauigkeit leidet.

Da sich die Kavitation unter anderem durch Erhöhung des Geräuschpegels äußert, sind auch schon Meßeinrichtungen mittels eines Mikrofones bekannt geworden (Brüel & Kjaer "Technical Review" No. 4 - 1980). Jedoch ist diese Meßmethode nicht zuverlässig genug und außerdem auch zu störempfindlich.

Durch die deutsche Offenlegungsschrift DE-A-32 36 815 ist auch schon eine Überwachungs- und Kontrolleinrichtung an Rohrleitungen zum Transport von Flüssigkeiten zur Unterdrückung von Kavitation bekannt geworden. Während man sich bisher darauf beschränkt hat, physikalische Größen wie die Temperatur oder das Flüssigkeitsniveau zu messen, wird dort vorgeschlagen, mittels eines Druckaufnehmers in Form einer Meßmembran mit Foliedehnungsmeßstreifen die Kavitation direkt zu messen. Unter Verwendung eines Mikroprozessors, der die gemessenen Kavitationswerte verarbeitet, läßt sich die Drehzahl einer Zentrifugalpumpe verändern, bis ein optimaler Betriebszustand ohne jegliche Kavitation eintritt.

Durch die bekannte Überwachungs- und Kontrolleinrichtung gemäß der deutschen Offenlegungsschrift DE-A-32 36 815 wird zwar gegenüber dem bisherigen manuellen Verfahren ein bedeutsamer Fortschritt erzielt, allerdings kann auch dieses Verfahren in der Praxis noch nicht vollständig überzeugen.

Hier greift nun die Erfindung ein, der die Aufgabe zugrunde liegt, ein Verfahren zur Regelung von Förderaggregaten für den Transport von Flüssigkeiten und/oder Gasen in Rohrleitungen zu schaffen, welches die schädlichen Wirkungen der Kavitation weitgehend ausschaltet.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt bei dem im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Verfahren dadurch, daß das Förderaggregat in Abhängigkeit von der gemessenen Kavitation so eingestellt wird, daß eine minimale Restkavitation verbleibt.

Die Erfindung beschreitet den neuartigen Weg, ganz bewußt eine gewisse minimale Restkavitation beizubehalten. Während man bisher - wenn auch in unzulänglicher Weise - darauf bedacht gewesen ist, die Kavitation möglichst vollständig zu beseitigen, sieht die Erfindung also überraschend die Maßnahme vor, eine - allerdings kontrollierbare - minimale Restkavitation durchaus zuzulassen.

Diesem verblüffenden Verfahrensschritt liegt die Überlegung zugrunde, die an sich schädliche Störgröße "Kavitation" während des Betriebes in geringem Maße beizubehalten, damit die Störgröße sozusagen jederzeit unter Kontrolle bleibt. Die

Restkavitation kann ohne weiteres so gering gewählt werden, daß schädliche Nebenwirkungen auf das Förderaggregat und auf die Rohrleitungen nicht zu befürchten sind. Es genügt, wenn die Restkavitation meßtechnisch gerade noch erfaßbar ist.

Ein bedeutsamer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß die vorgesehene laufende Erfassung bzw. Messung der Kavitation es erlaubt, das Förderaggregat abzuschalten, wenn die gemessene Kavitation einen schädlichen und vorgebbaren Kavitationsgrenzwert überschreitet. Es wird also im Grunde ein sich vollständig selbst regulierendes System geschaffen, bei welchem die Fördermengen in Anpassung an die unterschiedlichen Betriebsbedingungen so geregelt werden, daß eine manuelle Überwachung entfallen kann. Bei Überschreiten eines kritischen Grenzwertes kann die entsprechende Anlage selbsttätig abgeschaltet werden.

In zweckmäßiger Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die "Selbstregulierung" dadurch, daß in Abhängigkeit der gemessenen Kavitation die Drehzahl einer als Förderaggregat eingesetzten Pumpe entsprechend geregelt wird. Die Erfindung läßt sich aber auch ebenso dahingehend einsetzen, daß die gemessene Kavitation herangezogen wird, um etwa ein Drosselventil - und damit die Fördermenge - zu beeinflussen.

In zweckmäßiger Ausgestaltung läßt sich die Erfindung auch bei Wasserringpumpen einsetzen. Bisher wurde dort bei Auftreten einer schädlichen Kavitation die Frischwasserzufuhr erhöht oder es wurde zusätzliches Ballastgas oder Luft vorgesehen, um der schädlichen aufgetretenen Kavitation entgegenzuwirken. Bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens lassen sich nun der Frischwasserverbrauch und auch der Einsatz von Ballastgas oder Luft nicht nur einschränken, sondern letzteres sogar vollständig vermeiden, da die Pumpendrehzahl soweit heruntergeregelt werden kann, bis die Kapazität der Pumpe mit dem Gas-/Luftanfall übereinstimmt und die Kavitation akzeptabel ist.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben und der Zeichnung zu entnehmen.

Nachfolgend wird die Erfindung zum besseren Verständnis anhand des in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Prinzipdarstellung des Flüssigkeitsweges einer mehrstufigen Eindampfungsanlage,

Fig. 2 und 3 jeweils eine Teil-Schnittdarstellung einer Rohrleitung mit einer Meßeinrichtung für die Kavitation,

Fig. 4

ein Diagramm zur Verdeutlichung unterschiedlicher Betriebszustände, und  
Fig. 5 ein Diagramm zur Verdeutlichung des vorgesehenen Betriebszustandes mit einer Restkavitation.

In Fig. 1 ist schematisch eine mehrstufige Eindampfungsanlage 10 dargestellt. Die in einer ersten Stufe in einen Flüssigkeitsbehälter 12 angesammelte Flüssigkeit wird mittels einer Zentrifugalpumpe 16 in einen Flüssigkeitsbehälter 14 einer weiteren Stufe gefördert. Dort besitzt die Flüssigkeit einen Flüssigkeitsstand (Niveau) 20.

Mittels einer Zentrifugalpumpe 18 erfolgt eine weitere Förderung der Flüssigkeit durch eine Rohrleitung 22. Auf der Druckseite der Zentrifugalpumpe 18 bzw. der Rohrleitung 22 erfolgt nun an einer Rohrverzweigung 24 eine Messung der Kavitation. Die Meßwerte werden einem Mikroprozessor 26 zugeführt, welcher über einen Frequenzumformer 28 einen Elektromotor 30 zur Verstellung der Drehzahl der Zentrifugalpumpe 18 beeinflußt.

Es liegt also insgesamt ein Regelkreis vor, wobei die Drehzahl der Zentrifugalpumpe 18 derart geregelt wird, daß eine minimale Restkavitation beibehalten wird (was nachfolgend noch unter Bezugnahme von Fig. 4 und 5 näher erläutert wird).

Der nähere Aufbau der Rohrverzweigung 24 - also der Meßstelle für die Kavitation - wird aus Fig. 2 und 3 deutlich. Im Bereich der Rohrwandung der Rohrleitung 22 beinhaltet die Rohrverzweigung 24 eine Meßmembran 32 mit aufgeklebten Foliendehnungsmeßstreifen 34. Zum Trennen und zum Isolieren der Meßmembran 32 von der Rohrleitung 22 sind flexible Dichtungen 36 im Bereich einer Bördelscheibe 38 vorgesehen, die als Auflage für die flexiblen Dichtungen 36 dient. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit der Zeichnung ist eine an sich notwendige Klemmvorrichtung zum Verspannen der flexiblen Dichtungen 36, der Meßmembran 32 in den Figuren 2 und 3 nicht dargestellt.

Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführungsform, wobei die Meßmembran 32 gewölbt angeordnet ist, um sowohl bei Vakuum als auch bei Überdruck die erforderliche mechanische Beständigkeit zu gewährleisten.

Fig. 4 zeigt in einem Meßdiagramm unterschiedliche durch die jeweils ermittelten Spannungen U - über der Zeit t aufgetragen - charakterisierte Betriebszustände.

In dem mit I gekennzeichneten Bereich ist eine Kavitation 42 vorhanden, während durch den Bereich II eine Pulsation 44 gekennzeichnet wird.

Der Bereich "III" stellt den Normalbetrieb dar, der innerhalb des Bereiches IV nochmals gesondert als in der eingangs genannten deutschen

Offenlegungsschrift 32 36 815 als optimaler Betriebszustand 48 bezeichneter Zustand angegeben ist.

Der Bereich V gibt eine Füllkurve 50 wieder, d.h. es ist ein Zustand dargestellt, wie er sich beim Füllen der saugseitigen Seite der Zentrifugalpumpe 18 in Fig. 1 nach einer nicht ausreichenden Veränderung der Drehzahl einstellt, wenn der Flüssigkeitsstand 20 des Flüssigkeitsbehälters 14 ansteigt.

Das Diagramm 52 in Fig. 5 zeigt den mit der Erfindung verwirklichten Betriebszustand, bei welchem eine minimale Restkavitation 54 ganz bewußt beibehalten wird, und zwar abweichend von dem in Fig. 4 im Bereich IV dargestellten Betriebszustand 48.

In Versuchen konnte festgestellt werden, daß z.B. die Zentrifugalpumpe 18 in Fig. 1 - dort ist aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit der Zeichnung die Regelung nur in einer Stufe dargestellt - bei dem erfindungsgemäßem Verfahren immer in der Nähe des optimalen Betriebspunktes gefahren wird, der sich durch einen maximalen Wirkungsgrad auszeichnet. Als unmittelbare Folge davon sind minimal mögliche Zulaufhöhen für die Flüssigkeitsbehälter 12 und 14 zu erwähnen, was sich in mehrstufigen Milcheindampfanlagen durch reduziertes Flüssigkeitsvolumen, kürzere Durchlaufzeiten mit geringerer Produktschädigung und niedrigerer Produktviskosität bemerkbar macht.

Wenn beispielsweise in Fig. 1 die Anlage zu einem Auffüllen des Flüssigkeitsbehälters 14 führt, wodurch der Druck ansteigt, ergibt sich eine niedrigere Kavitation. Gemäß dem erfindungsgemäßem Verfahren erfolgt in diesem Fall eine Regelung in dem Sinne, daß die Drehzahl der Zentrifugalpumpe 18 erhöht wird, so daß die bewußt gewählte Restkavitation 54 beibehalten wird.

Wegen der erhöhten Drehzahl wird auch mehr gefördert, d. h. dem Auffüllen des Flüssigkeitsbehälters 14 wird unmittelbar entgegengetreten, so daß eine minimale Zulaufhöhe erhalten bleibt. Das damit verbundene geringe Niveau 20 gewährleistet eine relativ geringe Totzeit bzw. Verweilzeit der Flüssigkeit.

Ein weiterer bedeutsamer Vorteil der Erfindung ist bei Förderaggregaten gegeben, deren Drehzahl verändert werden kann. Da die Möglichkeit der Messung der Kavitation vorgesehen ist, läßt sich ohne weiteres ein Kavitationsgrenzwert festlegen, bei welchem die Anlage abgeschaltet wird bzw. ein Alarm gegeben wird.

Bei Verwendung einer Wasserringpumpe als Förderaggregat gestattet die Erfindung in vorteilhafter Weise eine erhebliche Einschränkung des Frischwasserverbrauches und des Einsatzes von Ballastgas oder Luft, da die Pumpendrehzahl bei dem erfindungsgemäßem Verfahren soweit herunter geregelt wird, bis die Kapazität der Pumpe mit

dem Gas-/Luftanfall übereinstimmt und die Kavitation auf die Restkavitation 54 heruntergedrückt ist.

### Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Regelung von Förderaggregaten für den Transport von Flüssigkeiten und/oder Gasen in Rohrleitungen, wobei als einzige Ausgangsgröße für die Regelung die Kavitation stromabwärts dem Förderaggregat gemessen wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Förderaggregat (18) in Abhängigkeit von der gemessenen Kavitation (42 ;54) so geregelt wird, daß eine meßtechnisch gerade noch erfaßbare Restkavitation (54) verbleibt.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Restkavitation (54) in Anpassung an die beim Transport jeweils vorhandenen unterschiedlichen Betriebsbedingungen auf entsprechend verschiedene Werte eingestellt wird.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Förderaggregat (18) abgeschaltet wird, wenn die gemessene Kavitation (42) einen einstellbaren Kavitationsgrenzwert überschreitet.
- 20 4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Alarm gegeben wird, wenn die gemessene Kavitation (42) einen einstellbaren Kavitationsgrenzwert überschreitet.
- 25 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 - 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Kavitation mittels eines Druckaufnehmers gemessen wird.
- 30 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kavitation mittels mindestens einer in der Rohrwandung der Rohrleitung (22) angeordneten Meßmembran (32) mit Foliendehnungsmeßstreifen (34) gemessen wird.
- 35 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 - 6, dadurch gekennzeichnet, daß die bei der Messung der Kavitation im Druckaufnehmer entstehende elektrische Spannung (U) einem Mikroprozessor (26) zur Auswertung zugeführt wird, und daß der Mikroprozessor (26) das Förderaggregat (18) regelt.
- 40 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Förderaggregat eine Zentrifugalpumpe (18) verwendet wird, und daß die Drehzahl der Zentrifugalpumpe (18) durch den Mikroprozessor (26) geregelt wird.
- 45
- 50
- 55

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 - 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Förderaggregat eine Verdrängerpumpe verwendet wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 - 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Förderaggregat eine Wasserringpumpe (Vakuumpumpe) verwendet wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 7, 9 und 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Mikroprozessor (26) die Ventileinstellung eines Drosselventils in der Rohrleitung (22) beeinflußt.

### Claims

1. Method of regulating pumping plants for the conveying of liquids and/or gases in pipelines, wherein the cavitation downstream of the pumping plant is measured as a single output variable for the regulation, characterized in that the pumping plant (18) is regulated as a function of the measured cavitation (42; 54) in such a way that a residual cavitation (54) which can still just be detected by measurement remains.
2. Method according to Claim 1, characterized in that the residual cavitation (54) is adjusted to correspondingly different values in adaptation to the different operating conditions present each time during the conveying.
3. Method according to Claim 1 or 2, characterized in that the pumping plant (18) is shut down when the measured cavitation (42) exceeds an adjustable limiting value of cavitation.
4. Method according to Claim 1 or 2, characterized in that an alarm is given when the measured cavitation (42) exceeds an adjustable limiting value of cavitation.
5. Method according to one of the preceding Claims 1 to 4, characterized in that the cavitation is measured by means of a pressure pick-up.
6. Method according to Claim 5, characterized in that the cavitation is measured by means of at least one measuring membrane (32) comprising strip strain gauges (34), disposed in the pipe wall of the pipeline (22).
7. Method according to one of the preceding Claims 1 to 6, characterized in that the electrical voltage (U) occurring in the pressure

5 pick-up at the measurement of the cavitation is fed to a microprocessor (26) for evaluation, and that the micro-processor (26) regulates the pumping plant (18).

- 10 8. Method according to Claim 7, characterized in that a centrifugal pump (18) is used as pumping plant and that the rotational speed of the centrifugal pump (18) is regulated by the microprocessor (26).
- 15 9. Method according to one of the preceding Claims 1 to 7, characterized in that a positive displacement pump is used as pumping plant.
- 20 10. Method according to one of the preceding Claims 1 to 7, characterized in that a liquid seal pump (vacuum pump) is used as pumping plant.
- 25 11. Method according to one of the preceding Claims 7, 9 and 10, characterized in that the microprocessor (26) influences the valve setting of a throttle valve in the pipeline (22).

### Revendications

- 30 1. Méthode de contrôle des groupes de transport pour le transport de liquides et/ou gaz dans des conduits tubulaires, la cavitation, comme valeur de sortie unique pour le contrôle, étant mesurée en aval du groupe de transport, caractérisée en ce qu'en fonction de la cavitation mesurée (42; 54), le groupe de transport (18) est contrôlé de manière qu'il subsiste une cavitation restante (54) encore enregistrable directement par méthode de mesure.
- 35 2. Méthode suivant la revendication 1, caractérisée en ce que la cavitation restante (54) est contrôlée en s adaptant aux différentes exigences de service existant, à chaque fois, dans le transport sur des valeurs correspondantes différentes.
- 40 3. Méthode suivant la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que le groupe de transport (18) est mis hors service quand la cavitation mesurée (42) dépasse une valeur limite réglable de cavitation.
- 45 4. Méthode suivant la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce qu'une alarme est donnée quand la cavitation mesurée (42) dépasse une valeur limite réglable de cavitation.
- 50 5. Méthode suivant l'une des revendications précédentes 1 à 4, caractérisée en ce que la

cavitation est mesurée au moyen d'un capteur de pression.

6. Méthode suivant la revendication 5, caractérisée en ce que la cavitation est mesurée au moyen, au moins, d'une membrane de mesure (32) disposée dans la paroi tubulaire du conduit tubulaire (22) avec une bande de mesure d'expansion de film (34).

5

7. Méthode suivant l'une des revendications précédentes 1 à 6, caractérisée en ce que la tension électrique (U) résultant de la mesure de la cavitation dans le capteur de pression est appliquée à un microprocesseur (26) pour l'évaluer et en ce que le microprocesseur (26) contrôle le groupe de transport (18).

10

15

8. Méthode suivant la revendication 7, caractérisée en ce que, comme groupe de transport, on utilise une pompe centrifuge (18) et en ce que la vitesse de rotation de la pompe centrifuge (18) est contrôlée par le microprocesseur (26).

20

9. Méthode suivant l'une des revendications précédentes 1 à 7, caractérisée en ce que, comme groupe de transport, on utilise une pompe volumétrique.

25

10. Méthode suivant l'une des revendications précédentes 1 à 7, caractérisée en ce que, comme groupe de transport, on utilise une pompe à anneau d'eau (pompe à vide).

30

11. Méthode suivant l'une des revendications précédentes 7, 9 et 10, caractérisée en ce que le microprocesseur (26) influence le réglage d'une vanne d'étranglement dans le conduit tubulaire (22).

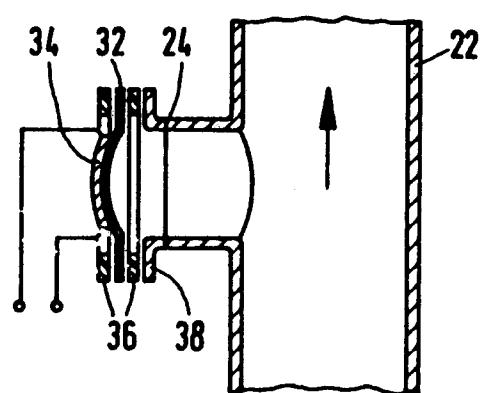
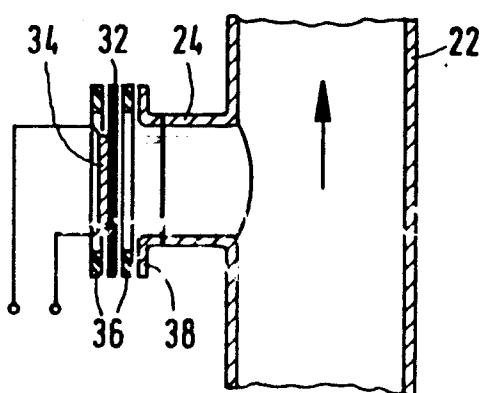
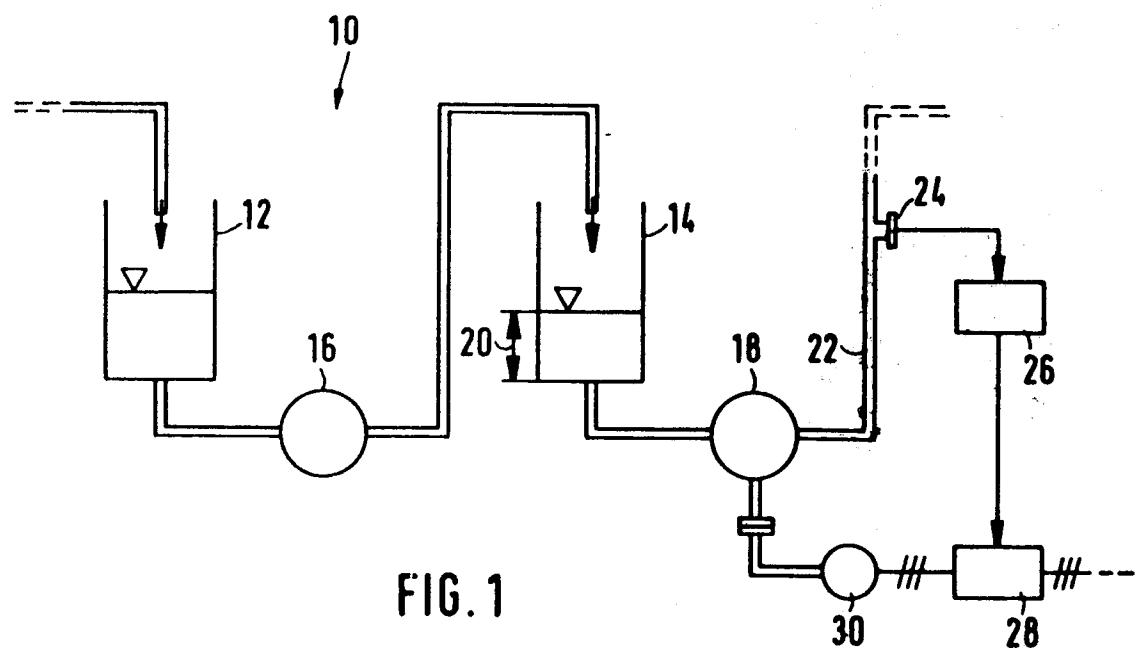
35

40

45

50

55



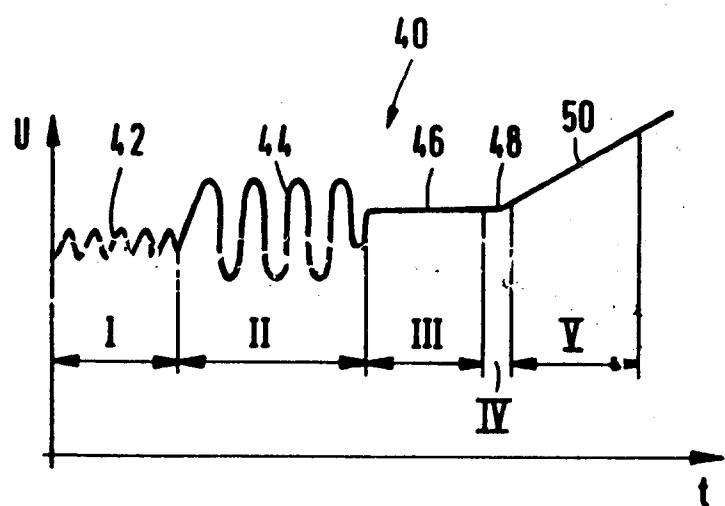


FIG. 4

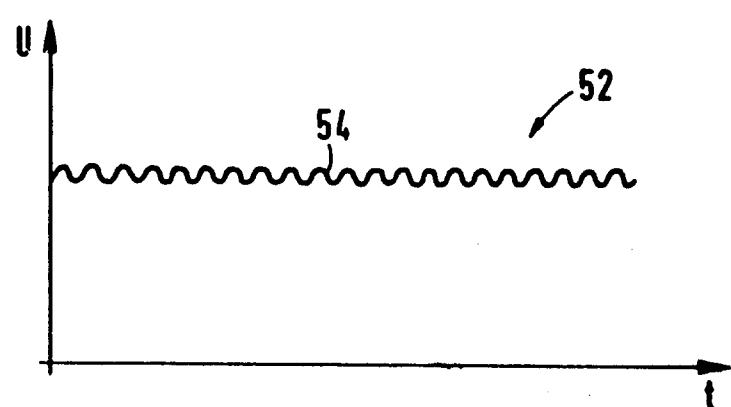


FIG. 5