

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 857 877 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

12.08.1998 Patentblatt 1998/33

(51) Int. Cl.⁶: F15B 3/00

(21) Anmeldenummer: 98101341.0

(22) Anmeldetag: 27.01.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE

Benannte Erstreckungsstaaten:

AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 08.02.1997 DE 19704822

(71) Anmelder: Mannesmann Rexroth AG

97816 Lohr am Main (DE)

(72) Erfinder:

• Dantlgraber, Jörg

97816 Lohr am Main (DE)

• Försterling, Heino

97816 Lohr am Main (DE)

(54) Pneumatisch-hydraulischer Wandler

(57) Ein pneumatisch-hydraulischer Wandler besitzt als Energiequelle einen Druckbehälter (15), in dem ein Gas gespeichert ist. In einer ersten Ausführung ist ein Wandlerkolben (10,11) von dem portionsweise in einen an den Wandlerkolben (10,11) angrenzenden Arbeitsraum (13) abgebbaren und sich darin entspannenden Gas verschiebbar, ist von einer Hydropumpe (28,32) ein Hydraulikfluid in eine Druckleitung (34) verdrängbar und sind der Wandlerkolben (10,11) und die Hydropumpe (28,32) nur über mechanische Koppelungsmittel (25,26,27,30,31) miteinander verbunden. Bei zwei anderen Ausführungen ist anstelle des Wandlerkolbens (10,11) ein Trennkolben (76) vorhanden, der einen ersten Arbeitsraum (79) von einem zweiten Arbeitsraum (72) eines Trennzylinders (73) trennt und der von aus dem Druckbehälter (15) portionsweise in den ersten Arbeitsraum (79) abgebbaren und sich darin entspannenden Gas verschiebbar ist und dabei Hydraulikfluid aus dem zweiten Arbeitsraum (72) verdrängt. Auch hier ist Hydraulikfluid in eine Druckleitung (34) förderbar, an die ein hydraulischer Verbraucher (84) anschließbar ist. Alternativ kann zwischen der Druckleitung (34) und dem zweiten Arbeitsraum (72) des Trennzylinders (73) ein hydraulischer Transformator (70) mit einer drehenden Primäreinheit (90) und einer von dieser mechanisch rotativ antreibbaren Sekundäreinheit (91) oder ein Resonator (112) mit wenigstens einer Druckkammer (119) angeordnet sein, die durch ein gegen eine Feder (121) bewegbares Masseteil (120) begrenzt ist und die über eine Ventilanordnung (113,114) zyklisch mit dem zweiten Arbeitsraum (72) des Trennzylinders (73), einer Niederdruckleitung (115) und der Druckleitung (34) verbindbar ist.

Solche pneumatisch-hydraulischen Wandler sind im Vergleich zu einem elektrischen System mit einer Batterie und einem Elektromotor relativ leicht an Gewicht

sowie kostengünstig herzustellen.

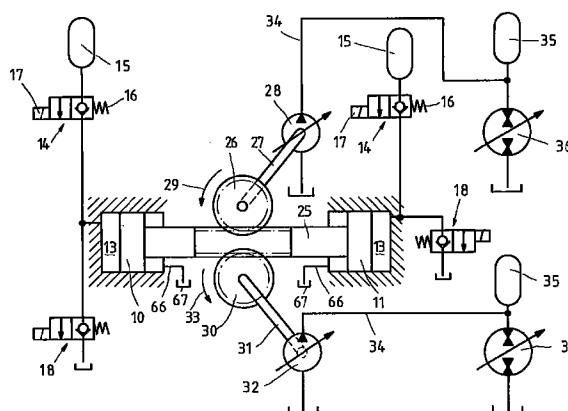


FIG.1

EP 0 857 877 A2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen pneumatisch-hydraulischen Wandler, mit dessen Hilfe eine pneumatisch durch ein unter Druck stehendes Gas gespeicherte Energie über einen hydraulischen Zwischenschritt letztendlich in eine mechanische Leistung umgesetzt werden soll.

Viele fahrbare Arbeitsgeräte, wie z.B. Gabelstapler, werden heute nicht mit einem Verbrennungsmotor, sondern mit einem Elektromotor betrieben, der aus einer Batterie gespeist wird. Die Batterie bildet den Energiespeicher des Arbeitsgeräts. Heute verwendete Batterien sind schwer und teuer. Ihre Herstellung und Entsorgung ist im Hinblick auf eine saubere Umwelt problematisch. Außerdem besitzt das Laden einer Batterie einen schlechten Wirkungsgrad, die verbrauchte elektrische Energie ist also größer als die in der Batterie gespeicherte bzw. die von der Batterie abgebbare elektrische Energie.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen pneumatischhydraulischen Wandler zu schaffen, der geeignet ist, anstelle einer elektrischen Batterie, an die ein Elektromotor angeschlossen ist, in einem insbesondere mobilen Arbeitsgerät verwendet zu werden, und der im Vergleich zur elektrischen Lösung eine Einsparung an Gewicht und Kosten ermöglicht und bei der Herstellung die Umwelt weniger belastet.

Diese Aufgabe wird gemäß Anspruch 1 auf eine erste Weise mit einem pneumatisch-hydraulischen Wandler gelöst, bei dem ein Gas in einem Druckbehälter gespeichert ist, ein Wandlerkolben von aus dem Druckbehälter portionsweise in einen an den Wandlerkolben angrenzenden Arbeitsraum abgebbaren und sich darin entspannenden Gas verschiebbar ist, ein Hydraulikfluid von einer Hydropumpe in eine Druckleitung verdrängbar ist und der Wandlerkolben und die Hydropumpe nur über mechanische Koppelungsmittel miteinander verbunden sind. Bei diesem erfindungsgemäßen pneumatischhydraulischen Wandler wird also die pneumatisch gespeicherte Energie zunächst in mechanische Energie und dann in hydraulische Energie umgewandelt, mit der das hydraulische System eines Arbeitsgerätes betrieben werden kann. Das Gas entspannt sich im Arbeitsraum relativ langsam und deshalb weitgehend isotherm, so daß ein guter Wirkungsgrad erzielt wird.

Vorteilhafte Ausgestaltungen eines pneumatisch-hydraulischen Wandlers gemäß Anspruch 1 kann man den Unteransprüchen 1 bis 25 entnehmen.

So sind vorteilhafterweise die mechanischen Koppelungsmittel gemäß Anspruch 2 so beschaffen, daß eine Antriebswelle der Hydropumpe rotatorisch antreibbar ist.

Weil beim Entspannen des Gases im Arbeitsraum der Druck, mit dem der Wandlerkolben beaufschlagt ist, absinkt, nimmt auch die Kraft ab, die vom Wandlerkolben ausgeübt werden kann. Mit Hilfe eines Schwungra-

des, das mit der Antriebswelle der Hydropumpe verbunden ist, kann der Antrieb der Hydropumpe gleichmäßig werden. Die relativ langsame Geschwindigkeit des Wandlerkolbens wird dabei vorteilhafterweise durch in den mechanischen Koppelungsmitteln enthaltene Getriebemittel ins Schnelle übersetzt.

Es ist zweckmäßig, eine Hydropumpe zu verwenden, die in ihrem Hubvolumen in Abhängigkeit vom Weg des Wandlerkolbens oder in Abhängigkeit vom Druck des sich entspannenden Gases verstellbar ist. Bei der Änderung der Übersetzung sowie der Änderung des Hubvolumens der Hydropumpe wird zweckmäßigerweise auch die während des Betriebs auftretende Änderung des Drucks im Druckbehälter berücksichtigt.

Für die Rückstellung eines Wandlerkolbens, während der der Arbeitsraum entlüftet ist, kann Energie einem Schwungrad entnommen werden oder eine Rückstellfeder vorgesehen sein. Möglich ist es auch, den Wandlerkolben auf der dem Arbeitsraum abgelegenen Seite mit einem hydraulischen Druckmittel niederen Druckes, wie er z.B. in einer vorgespannten Tankleitung ansteht, zu beaufschlagen. Besonders vorteilhaft erscheint es jedoch, wenn gemäß Anspruch 7 mehrere versetzt zueinander arbeitende Wandlerkolben zur gegenseitigen Rückstellung mechanisch miteinander verbunden sind. Jeder der mehreren Wandlerkolben kann eine andere Hydropumpe antreiben, wobei diese Hydropumpen getrennt voneinander verschiedene hydraulische Verbraucher mit Druckmittel versorgen oder auch über Rückschlagventile in denselben hydraulischen Kreislauf fördern können. Bevorzugt ist jedoch gemäß Anspruch 8 von den mehreren versetzt zueinander arbeitenden Wandlerkolben dieselbe Hydropumpe antreibbar.

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind zwei gegensinnig zueinander arbeitende Wandlerkolben miteinander verbunden. Wie deren Bewegung mit Hilfe einer Zahnstange vorteilhafterweise zum Antrieb einer oder mehrerer Hydropumpen genutzt werden kann, ist in den Ansprüchen 10 und 11 angegeben.

Die weiter oben formulierte Aufgabe wird gemäß Anspruch 12 auf eine zweite Weise durch einen pneumatisch-hydraulischen Wandler gelöst, bei dem ebenfalls ein Gas in einem Druckbehälter gespeichert ist und ein Kolben von aus dem Druckbehälter portionsweise abgebbaren und sich entspannenden Gas verschiebbar ist. Der Kolben ist nun ein Trennkolben, der einen ersten Arbeitsraum von einem zweiten Arbeitsraum eines Trennzylinders trennt. Das Gas wird in den ersten Arbeitsraum abgegeben. Aus dem zweiten Arbeitsraum kann vom Trennkolben Hydraulikfluid verdrängt werden. Ebenfalls ist in eine Druckleitung ein Hydraulikfluid förderbar. Es befindet sich nun zwischen der Druckleitung und dem zweiten Arbeitsraum des Trennzylinders ein hydraulischer Transformator mit einer drehenden Primäreinheit und einer von dieser mechanisch rotativ

antreibbaren Sekundäreinheit, wobei zumindest eine der beiden Einheiten in ihrem Hubvolumen verstellbar ist. Durch die Verstellbarkeit zumindest einer Einheit des hydraulischen Transformators gelingt es, in der Druckleitung einen konstanten Druck oder einen konstanten Fluidstrom aufrechtzuerhalten, während im ersten Arbeitsraum am Trennkolben der Gasdruck und im zweiten Arbeitsraum der Druck des Hydraulikfluids absinkt. Für die Aufrechterhaltung eines konstanten Druckes in der Druckleitung ist diese außerdem vorzugsweise an einen Hydrospeicher angeschlossen.

Gemäß Anspruch 13 wird die oben angegebene Aufgabe auf eine dritte Weise durch einen pneumatisch-hydraulischen Wandler gelöst, der wie der Wandler nach Anspruch 12 einen Druckbehälter mit Gas, einen Trennkolben und eine Druckleitung aufweist, bei dem jedoch zwischen der Druckleitung und dem zweiten Arbeitsraum des Trennkolbens ein Resonator mit wenigstens einer Druckkammer angeordnet ist, die durch ein gegen eine Feder bewegbares Masseteil begrenzt ist und die über eine Ventilanordnung zyklisch mit dem zweiten Arbeitsraum des Trennzylinders, einer Niederdruckleitung und der Druckleitung verbindbar ist.

Durch die hinsichtlich ihres Volumens veränderbare Druckkammer wird im Zusammenwirken mit dem Feder-Masse-System erreicht, daß das während der Verbindung der Druckkammer einerseits mit dem zweiten Arbeitsraum und andererseits mit der Niederdruckleitung in die Druckkammer strömende Druckmittel während der Druckkammerverbindung mit der Druckleitung aufgrund der in der Feder gespeicherten Energie wieder aus der Druckkammer gedrückt wird, so daß sich ein von der Schaltfrequenz der Ventilanordnung abhängiger Volumenstrom des Hydraulikfluids in der Druckleitung einstellt. Dieser wird vorteilhafterweise über die Schaltfrequenz des Schaltventils gesteuert. Besonders geeignet sind dafür Schaltfrequenzen im Überresonanzbereich des Feder-Masse-Systems, also in einem Frequenzbereich oberhalb von dessen Resonanzfrequenz. Da der Volumenstrom des Hydraulikfluids auch von der Zeit, in der die Druckkammer mit der zweiten Arbeitskammer des Trennzylinders verbunden ist, abhängt, kann zur Steuerung des Volumenstromes auch diese Zeit verändert werden. Es gelingt auf diese Weise, trotz abfallendem Gasdruck und Hydraulikfluiddruck in den Arbeitsräumen des Trennzylinders einen gleichmäßigen Volumenstrom in der Druckleitung zu erzeugen. Eventuell werden mehrere Trennkolben und mehrere Resonatoren vorgesehen, die zyklisch Fluid in die Druckleitung abgeben.

Eine weitere Einstellmöglichkeit besteht in der Wahl der Öffnungszeiten, in denen die Druckleitung mit der Druckkammer des Resonators verbunden ist. Werden nämlich diese Zeiten gegenüber der Anschlußzeit der Druckkammer an den zweiten Arbeitsraum des Trennzylinders und an die Niederdruckleitung entsprechend verkürzt, kann in der Druckleitung ein den Druck in der zweiten Arbeitskammer des Trennzylinders überstei-

gender Druck aufgebaut werden.

Vergrößert man die Öffnungszeiten zwischen der Druckleitung und der Druckkammer, so kann andererseits der Volumenstrom in der Druckleitung mit dem Vorteil abgesenkt werden, daß gegenüber einer Volumenstromsteuerung über die Öffnungszeit zwischen dem zweiten Arbeitsraum des Trennzylinders und der Druckkammer ein besserer Wirkungsgrad erzielt wird.

Wegen weiterer Einzelheiten und Vorteilen eines hydraulischen Resonators wird schon hier ausdrücklich auf die frühere internationale Patentanmeldung PCT/EP96/03964 der Anmelderin Bezug genommen, deren Offenbarungsgehalt ausdrücklich auch Inhalt der vorliegenden Patentanmeldung sein soll, soweit der in der früheren Patentanmeldung geoffenbarte hydraulische Resonator im Zusammenhang mit einem pneumatisch-hydraulischen Wandler verwendet wird.

Wie schon angedeutet sind vorteilhafterweise mehrere Trennzylinder mit Trennkolben vorhanden, die abwechselnd Hydraulikfluid aus einem zweiten Arbeitsraum in eine gemeinsame Leitung verdrängen. Auf diese Weise läßt sich leicht ein gleichmäßiger Betrieb herbeiführen. Für eine einfache Bauweise können zwei Trennkolben zu einem einzigen doppelten Stufenkolben zusammengefaßt werden.

Mehrere Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen pneumatisch-hydraulischen Wandlers sind in den Zeichnungen dargestellt. Anhand der Figuren dieser Zeichnungen wird die Erfindung nun näher erläutert.

Es zeigen

- Figur 1 eine erste Ausführung mit zwei über eine Zahnstange miteinander verbundenen Wandlerkolben, zwei mit der Zahnstange kämmenden Ritzeln und zwei angetriebenen Hydropumpen,
- Figur 2 eine zweite Ausführung, die ebenfalls zwei über eine Zahnstange miteinander verbundene Wandlerkolben und zwei mit der Zahnstange kämmende Ritzel aufweist, bei der jedoch über die beiden Ritzel nur eine Hydropumpe antreibbar ist,
- Figur 3 eine dritte Ausführung, die ebenfalls zwei über eine Zahnstange miteinander verbundene Wandlerkolben, jedoch nur ein mit der Zahnstange kämmendes Ritzel aufweist,
- Figur 4 eine vierte Ausführung, bei der ein Pumpenelement einer Hydropumpe über einen Kniehebel vom Wandlerkolben antreibbar ist,
- Figur 5 eine fünfte Ausführung, die drei versetzt zueinander arbeitende Wandlerkolben aufweist, die über Schubkurbeln eine Hydropumpe antreiben,
- Figur 6 eine sechste Ausführung, bei der zwei Trennkolben durch einen doppelten Stufenkolben realisiert sind und die einen

- Figur 7 hydraulischen Transformator aufweist, das Schaltbild eines in der Ausführung nach Figur 6 verwendbaren hydraulischen Transformators, dessen Primäreinheit konstantes Hubvolumen und dessen Sekundäreinheit ein verstellbares Hubvolumen aufweist,
- Figur 8 das Schaltbild eines weiteren hydraulischen Transformators, der ebenfalls bei der Ausführung nach Figur 6 verwendet werden kann und bei dem beide Einheiten verstellbar sind,
- Figur 9 den hydraulischen Transformator nach Figur 8 in konstruktiven Einzelheiten,
- Figur 10 das Schaltbild eines weiteren hydraulischen Transformators, bei dem wiederum beide Einheiten verstellbar sind, wobei die Verstellglieder für eine gegensinnige Verstellung miteinander gekoppelt sind, und
- Figur 11 eine letzte Ausführung, bei der zwischen der Druckleitung und dem zweiten Arbeitsraum des Trennzylinders ein hydraulischer Resonator angeordnet ist.

Bei den Ausführungen nach den Figuren 1 bis 5 grenzen die Wandlerkolben 10, 11 oder 12 jeweils einen Arbeitsraum 13 ab, dessen Volumen sich durch ein Verschieben eines Wandlerkolbens verändert. Ein Arbeitsraum ist über ein erstes Magnetventil 14 mit einem Druckluftspeicher 15 verbindbar, der z.B. auf einen maximalen Druck von 200 bar aufgeladen werden kann. Jedes Magnetventil 14 sperrt in einer Ruhestellung, die es unter der Wirkung einer Rückstellfeder 16 einnimmt, die Verbindung zwischen einem Arbeitsraum 13 und dem Druckspeicher 15 ab. Jedes Ventil 14 kann durch Ansteuern eines Elektromagneten 17 in eine zweite Schaltstellung gebracht werden, in der Preßluft aus einem Druckluftspeicher 15 in den Arbeitsraum 13 strömen kann. Über ein zweites elektromagnetisch betätigbares Ventil 18 kann jeder Arbeitsraum 13 entlüftet werden.

Bei den Ausführungen nach den Figuren 1 bis 3 arbeiten zwei Wandlerkolben 10 und 11 gegensinnig zueinander. Diese beiden Wandlerkolben sind über eine Zahnstange 25 starr miteinander verbunden. Im Betrieb wird bei kleinem Volumen des Arbeitsraumes 13 am einen Kolben, z.B. dem Kolben 11, dessen Arbeitsraum über das entsprechende Magnetventil 14 kurzzeitig mit dem zugeordneten Druckspeicher 15 verbunden. Dann wird die Verbindung abgesperrt. Das sich unter hohem Druck im Arbeitsraum 13 befindliche Gas entspannt sich und verschiebt dabei unter Vergrößerung des Arbeitsraumes 13 den Wandlerkolben 11, die Zahnstange 25 und den Wandlerkolben 10 nach links. Dabei ist das dem Wandlerkolben 10 zugeordnete Ventil 14 geschlossen. Der Arbeitsraum 13 des Wandlerkolbens 10 ist über das Magnetventil 18 entlüftet. Nach vollständiger oder nahezu vollständiger Entspannung der Luft

im Arbeitsraum 13 des Wandlerkolbens 11 wird dieser Arbeitsraum über das zugeordnete Ventil 18 entlüftet. Das andere Magnetventil 18 wird geschlossen und der Arbeitsraum 13 des Wandlerkolbens 10 über das zugeordnete Magnetventil 14 kurzzeitig mit dem entsprechenden Druckluftspeicher 15 verbunden. Dann entspannt sich die Luft im Arbeitsraum 13 des Wandlerkolbens 10 und schiebt diesen zusammen mit der Zahnstange 25 und dem Wandlerkolben 11 nach rechts.

Bei der Ausführung nach Figur 1 kämmt mit der Zahnstange 25 ein erstes Ritzel 26, das über einen nicht näher dargestellten Freilauf mit der Antriebswelle 27 einer Hydropumpe 28 verbunden ist. Das Ritzel 26 möge die Antriebswelle 27 antreiben, wenn sich die beiden Wandlerkolben 10 und 11 nach rechts bewegen. Das Ritzel 26 dreht sich dann in Richtung des Pfeiles 29 und nimmt die Antriebswelle 27 über den Freilauf mit. Bei einer Bewegung der Wandlerkolben 10 und 11 nach links dreht sich das Ritzel 26 entgegen der Richtung des Pfeiles 29 und die Verbindung zwischen ihm und der Antriebswelle 27 ist durch den Freilauf unterbrochen. Ein zweites Ritzel 30 ist dem Ritzel 26 bezüglich der Zahnstange 25 gegenüberliegend angeordnet. Dieses Ritzel 30 ist ebenfalls über einen Freilauf mit der Antriebswelle 31 einer zweiten Hydropumpe 32 verbunden. Der Freilauf ist unwirksam, wenn sich die beiden Wandlerkolben 10 und 11 nach links bewegen, wobei das Ritzel 30 in Richtung des Pfeiles 33 gedreht wird. Bei einer Bewegung der Wandlerkolben 10 und 11 nach rechts wird aufgrund des Freilaufs kein Drehmoment vom Ritzel 30 auf die Antriebswelle 31 übertragen.

Somit wird jede der beiden Hydropumpen 28 und 32 immer nur in dieselbe Richtung angetrieben. Das Hubvolumen der beiden Hydropumpen 28 und 32 ist verstellbar, so daß es entsprechend dem Weg des antreibenden Wandlerkolbens 10 oder 11 bzw. dem Druck des sich in einem Arbeitsraum entspannenden Gases angepaßt werden kann. Dadurch ist es möglich, in einer von der jeweiligen Hydropumpe 28 bzw. 32 abgehenden Druckleitung 34 einen nahezu konstanten Druck aufrechtzuerhalten. An die Druckleitung 34 ist außerdem zur Vergleichmäßigung des Druckes ein Hydrospeicher 35 angeschlossen. Die Druckleitung 34 führt zu einer verstellbaren Hydromaschine 36, die z.B. zum Fahrentrieb eines Gabelstaplers gehört und die auch geeignet ist, Druckmittel aus einem Tank in den Speicher 35 zu fördern, wenn der Gabelstapler gebremst wird.

Die Ausführung nach Figur 2 stimmt hinsichtlich der Wandlerkolben 10 und 11 der Zahnstange 25 sowie der beiden Ritzel 26 und 30 mit der Ausführung nach Figur 1 überein. Jedem Ritzel 26 bzw. 30 ist über einen Freilauf ein weiteres Ritzel nachgeordnet, das dieselbe Achse wie das Ritzel 26 bzw. 30 besitzt und gleich diesem Ritzel ausgebildet sein kann. Diese nachgeordneten Ritzel kämmen beide mit einem Zahnrad 37, das verdrehfest auf der Antriebswelle 27 einer Hydropumpe 28 sitzt. Bei einer Bewegung der Wandlerkolben 10 und

11 nach rechts wird das Ritzel 26 in Richtung des Pfeiles 29 angetrieben und kann seine Drehbewegung über den zugeordneten Freilauf auf das Zahnrad 37 übertragen. Das andere Ritzel 30 kann aufgrund des ihm nachgeordneten Freilaufs ohne Rücksicht auf die Drehrichtung des Zahnrad 37 entgegen der Richtung des Pfeiles 33 drehen. Bei einer Bewegung der Wandlerkolben 10 und 11 nach links dreht das Ritzel 26 frei und das Ritzel 30, das sich nun in Richtung des Pfeiles 33 dreht, überträgt seine Drehbewegung auf das Zahnrad 37. Dieses Zahnrad 37 und mit ihm die Antriebswelle 27 der Hydropumpe 28 drehen sich also immer in dieselbe Richtung.

Die Hydropumpe 28 fördert wiederum in eine Druckleitung 34, an die ein Hydrospeicher 35 und eine Hydromaschine 36 angeschlossen sind.

Die beiden Wandlerkolben 10 und 11 der Ausführung nach Figur 3 arbeiten wiederum gegensinnig zueinander und sind über eine Zahnstange 25 starr miteinander verbunden. Diese kämmt jetzt mit einem Ritzel 30, das ohne Freilauf verdrehsicher auf der Antriebswelle 42 einer Hydropumpe 43 befestigt ist. Das Hubvolumen der Hydropumpe 43 ist von einem maximalen positiven Wert bis zu einem maximalen negativen Wert verstellbar. Die Hydropumpe 43 ist also eine über null verschwenkbare Pumpe. Dies bedeutet, daß die Förderrichtung der Hydropumpe 43 ohne Änderung der Drehrichtung der Antriebswelle 42 umgekehrt werden kann. Es bedeutet weiterhin, daß die Förderrichtung auch bei einer Umkehrung der Drehrichtung der Antriebswelle 42 beibehalten werden kann. Von letzterem wird bei dem pneumatisch-hydraulischen Wandler nach Figur 3 Gebrauch gemacht. Das Ritzel 30 und mit ihm die Antriebswelle 42 wird bei einer Bewegung der Wandlerkolben 10 und 11 nach links in die eine Drehrichtung und bei einer Bewegung der Wandlerkolben 10 und 11 nach rechts in die andere Drehrichtung angetrieben. Bei jeder Drehrichtungsumkehr wird die Hydropumpe über null verschwenkt, so daß die Förderrichtung beibehalten und jeweils Druckmittel in die Druckleitung 34 gefördert wird. An diese sind wiederum ein Hydrospeicher 35 und eine Hydromaschine 36 angeschlossen. Das Hubvolumen der Hydropumpe 43 wird also während eines vollständigen Arbeitstaktes der beiden Wandlerkolben 10 und 11 jeweils von einem großen Wert bis nahe an null herab verkleinert, dann auf einen großen Wert entgegengesetzten Vorzeichen vergrößert und wiederum bis auf nahe null herab verringert.

Der maximale Wert der Hubvolumina der Hydropumpen 28, 32 und 43 wird dabei jeweils auch in Abhängigkeit von dem noch in den Druckluftspeichern 15 herrschenden Druck verändert.

Während bei den Ausführungen nach den Figuren 1 bis 3 die mechanischen Koppelungsmittel zwischen einem Wandlerkolben und einer Hydropumpe als wesentliche Teile eine Zahnstange und ein mit der Zahnstange kämmendes Ritzel umfassen, werden

diese Koppelungsmittel bei den Ausführungen nach den Figuren 4 und 5 durch ebene Gelenkgetriebe gebildet. In Figur 4 beruhen die mechanischen Koppelungsmittel auf dem Prinzip des Kniehebels, in Figur 5 auf dem Prinzip der Schubkurbel.

Dementsprechend ist bei der Ausführung nach Figur 4 an den Plungerkolben 49 einer Hydropumpe 50 ein erster Hebel 51 eines Kniehebels 52 angelenkt. Ein zweiter Hebel 53 des Kniehebels 52 ist gelenkig mit einem Stellkolben 54 verbunden, der in Richtung stärkerer Knickung des Kniehebels 52 von einem in einem Druckraum 55 eines Stellzylinders 56 herrschenden Druck eines fluiden Mediums beaufschlagbar ist. In Gegenrichtung übt eine Druckfeder 57 eine Kraft auf den Stellkolben 54 aus. Eine gelenkige Verbindung zwischen dem Mittelgelenk zwischen den beiden Hebeln 51 und 53 und dem Wandlerkolben 10 wird über eine Koppelstange 57 hergestellt.

Dem Kniehebelprinzip inhärent ist, daß sich das Übersetzungsverhältnis zwischen dem Weg des Wandlerkolbens 10 und dem Weg des Plungerkolbens 49 der Hydropumpe 50 in Abhängigkeit von dem von den beiden Hebeln 51 und 53 des Kniehebels 52 eingeschlossenen Winkel ändert und dadurch eine Anpassung des Übersetzungsverhältnisses an den Druck des sich im Arbeitsraum 13 entspannenden Gases möglich ist. Auf diese Weise kann der Plungerkolben 49 während des gesamten Weges des Wandlerkolbens 10 Druckmittel unter einem weitgehend konstanten Druck in die Druckleitung 34 fördern.

Der Druckraum 55 des Stellzylinders 56 ist mit dem Druckluftspeicher 15 verbunden, so daß zu Beginn eines Arbeitstaktes im Arbeitsraum 13 und im Druckraum 55 derselbe Druck wie in dem Druckluftspeicher 15 herrscht. Zwischen der von diesem Druck an einer Wirkfläche des Stellkolbens 54 erzeugten Kraft und der Kraft der Druckfeder 57 stellt sich ein Gleichgewicht ein, das in Abhängigkeit von dem Druck im Druckluftspeicher 15 jeweils in einer anderen Position des Stellkolbens 54 erreicht wird. Da die Ausgangsposition des Wandlerkolbens 10 von der Gleichgewichtsposition des Stellkolbens 54 abhängt, wird durch den Stellzylinder 56 und den Stellkolben 54 der pneumatisch-hydraulische Wandler nach Figur 4 an den sich mit zunehmender Betriebsdauer ändernden Druck im Druckluftspeicher 15 angepaßt.

Bei der Ausführung nach Figur 5 sind drei Wandlerkolben 10, 11 und 12 sternförmig zueinander in gleichen Winkelabständen um die Antriebswelle 27 einer Hydropumpe 28 herum angeordnet. Jeder Wandlerkolben ist über eine Schubstange 60 an einen Kurbelzapfen 61 einer Kurbel 62 angelenkt, die verdrehsicher auf der Antriebswelle 27 der Hydropumpe 28 befestigt ist. Die drei Wandlerkolben 10, 11 und 12 arbeiten um 120 Grad versetzt zueinander. Während des Arbeitstaktes eines Wandlerkolbens ändert sich für diesen der effektive Hebelarm an der Kurbel 62, wodurch eine Anpassung an den Druck des sich im Arbeitsraum 13

entspannenden Gases erfolgen kann. Im übrigen wird auch durch die bewegten Massen eine Vergleichmäßigung des an die Antriebswelle 27 abgegebenen Drehmoments erzielt. Zudem ist das Hubvolumen der Hydropumpe 28 verstellbar. Insgesamt kann somit ein weitgehend konstanter Druck in der Druckleitung 34, in die die Hydropumpe 28 fördert, aufrechterhalten werden.

Das Schubkurbelprinzip kann auch mit nur einem Wandlerkolben verwirklicht werden. Vorteilhafterweise wird dann zusätzlich ein Schwungrad vorgesehen, mit dessen Hilfe das an die Antriebswelle 27 abgebbare Drehmoment gleichmäßig wird. Zwischen der Kurbel 62 und dem Schwungrad und/oder zwischen dem Schwungrad und der Antriebswelle 27 kann sich dann ein Über- bzw. Untersetzungsgetriebe befinden. Ein Übersetzungsgetriebe kann auch bei den Ausführungen nach den Figuren 1 bis 3 und nach Figur 5 in die zu der jeweiligen Hydropumpe führende Antriebswelle eingebaut werden, um die optimale Antriebsdrehzahl für die Hydropumpe zu erhalten.

Bei den Ausführungsbeispielen mit mehreren Wandlerkolben wird jeder Wandlerkolben aus einem nur ihm zugeordneten Druckluftspeicher 15 mit Druckluft versorgt. Prinzipiell ist es auch möglich, mehrere Wandlerkolben aus ein und demselben Druckluftspeicher mit Druckluft zu versorgen, wobei jeweils eines von mehreren Magnetventilen 14 kurzzeitig öffnet.

Bei der Ausführung nach Figur 3 befinden sich die Zahnstange 25, das Ritzel 30, die Antriebswelle 42 und die Hydropumpe 43 in einem großen Hohlraum 65, der den Tank des hydraulischen Systems bildet, zu dem die Hydropumpe 43 und die Hydromaschine 36 gehören. Die Hydropumpe 43 saugt direkt aus dem Hohlraum 65 Öl an.

Auf diese Weise sind auch die Wandlerkolben 10 und 11 vom Öl benetzt und können aus diesem Öl Wärme aufnehmen, so daß die Entspannung des sich im Arbeitsraum 13 befindlichen Gases weitgehend isotherm erfolgt.

Bei den Ausführungen nach den Figuren 1, 2, 4 und 5 sind die Räume, die bezüglich des Wandlerkolbens dem jeweiligen Arbeitsraum 13 gegenüberliegen, jeweils über eine Leitung 66 mit einem Tank 67 verbunden. Auch damit soll angedeutet werden, daß ein Wärmeübergang vom Öl aus zu den Wandlerkolben und das einen Wandlerkolben umgebende Gehäuse möglich ist, um eine weitgehend isotherme Entspannung des Gases im Arbeitsraum 13 zu erreichen. Auch bei den Ausführungen nach den Figuren 1, 2, 4 und 5 können sich jedoch die mechanischen Koppelungsmittel ähnlich wie bei der Ausführung nach Figur 3 in einem mit Öl gefüllten Hohlraum befinden.

Bei der Ausführung nach Figur 6 wird ein hydraulischer Transformator 70 verwendet. Dieser ist primärseitig über jeweils ein Druckventil 71 mit zwei zweiten Arbeitsräumen 72 eines Trennzylinders 73 verbunden. Dieser ist als doppelter Trennzylinder ausgebildet, der

eine zentrale Zylinderkammer 74 von gegebenem Durchmesser aufweist, an die sich in axialer Richtung beidseits jeweils eine äußere Zylinderkammer 75 anschließt, deren Durchmesser kleiner als der Durchmesser der zentralen Zylinderkammer 74 ist. Die Durchmesser sind so gewählt, daß die Querschnittsfläche der mittleren Zylinderkammer 74 gerade doppelt so groß oder auch geringfügig kleiner als doppelt so groß wie die Querschnittsfläche der Zylinderkammern 75 ist.

In dem Trennzylinder 73 befindet sich ein Doppelstufenkolben 76, durch den zwei Trennkolben realisiert sind, und der mittig einen Kolbenabschnitt 77 aufweist, dessen Durchmesser dem Durchmesser der Zylinderkammer 74 entspricht. Beidseits ragen vom Kolbenabschnitt 77 Kolbenabschnitte 78 ab, die in ihrem Durchmesser dem Durchmesser der Zylinderkammern 75 entsprechen und in diese eintauchen. Beidseits des Kolbenabschnitts 77 befinden sich die zwei zweiten Arbeitsräume 72, die wegen der Kolbenabschnitte 78 ringförmige Gestalt haben. Der freie Raum zwischen einer Stirnseite eines Kolbenabschnitts 78 und dem Boden der zugeordneten Zylinderkammer 75 bildet einen ersten Arbeitsraum 79 im Trennzylinder 73. Aufgrund der vorbeschriebenen Wahl der verschiedenen Durchmesser sind die Querschnittsflächen der beiden Arbeitsräume 79 genau so groß oder nur wenig größer als die Querschnittsflächen der beiden zweiten Arbeitsräume 72.

Beide Arbeitsräume 72 sind über jeweils ein Saugventil 80 mit einem Tank 81 für eine hydraulische Flüssigkeit verbunden.

Vom Boden jeder Zylinderkammer 75 aus führt eine Leitung 82 zu einem Ventil 83, über das in einer ersten Schaltstellung der eine erste Arbeitsraum 79 mit einem Druckluftspeicher 15 und der andere erste Arbeitsraum 79 mit Atmosphäre verbindbar ist. In der anderen Schaltstellung des Ventils 83 sind die Verbindungen umgekehrt. In eine Leitung zwischen dem Ventil 83 und dem Druckluftspeicher 15 ist noch ein Magnetventil eingefügt, das dem Magnetventil 14 aus den Figuren 1 bis 5 entspricht und deshalb mit derselben Bezugszahl 14 versehen ist. Über das Magnetventil 14 wird durch kurzzeitige Betätigung des Elektromagneten 17 der Druckluftspeicher 15 in Abhängigkeit von der Stellung des Ventils 83 jeweils kurzzeitig mit dem einen ersten Arbeitsraum oder dem anderen ersten Arbeitsraum 79 des Trennzylinders 73 verbunden.

Die Sekundäreinheit des hydraulischen Transformators 70 fördert Hydraulikfluid in eine Druckleitung 34, an die ein Hydromotor 84 angeschlossen ist. Dieser ist über null verschwenkbar, kann also ohne Vertauschung von Druck- und Sauganschluß das Rad 85 eines mobilen Arbeitsgeräts vorwärts und rückwärts antreiben, auch wenn er, wie in Figur 6 gezeigt, einen fest mit Tank verbundenen Sauganschluß aufweist.

Der hydraulische Transformator 70 nach Figur 6 kann eine Primäreinheit mit konstantem Hubvolumen aufweisen, die als Motor arbeitet und mit ihrem Druck-

eingang an die zu den Druckventilen 71 führende Leitung 86 und mit einem Ausgang mit dem Tank 81 verbunden ist. Das Hubvolumen der Sekundäreinheit ist von null bis zu einem maximalen Wert verstellbar.

Bei der Ausführung nach Figur 7 enthält der hydraulische Transformator 70 wiederum eine auf der einen Seite mit der Leitung 86 und auf der anderen Seite mit Tank 81 verbundene Primäreinheit 90 mit einem konstanten Hubvolumen. Die Primäreinheit 90 treibt als Motor mechanisch eine Sekundäreinheit 91 an, deren Hubvolumen von einem maximalen positiven Wert über null bis zu einem maximalen negativen Wert verstellbar ist. Die Richtung des durch die Sekundäreinheit 91 fließenden Hydraulikmittels kann also ohne Drehrichtungsumkehr des Antriebes umgekehrt werden. Die Sekundäreinheit 91 wird zusammen mit einem Hydromotor 92, dessen Hubvolumen konstant ist, in einem geschlossenen hydraulischen Kreislauf betrieben.

Die Figur 8 zeigt einen hydraulischen Transformator 70, bei dem sowohl die Primäreinheit 90 als auch die Sekundäreinheit 91 in ihrem Hubvolumen verstellbar ist. Man erhält somit einen großen Verstellbereich des hydraulischen Transformators.

Bei dem Ausführungsbeispiel nach Figur 8 ist die Sekundäreinheit 91 des hydraulischen Transformators 70 zugleich Primäreinheit eines sekundärgeregelten hydraulischen Systems und über eine Druckleitung 34 mit einer Sekundäreinheit 93 dieses Systems verbunden. Damit der Druck in der Druckleitung 34 weitgehend konstant ist, ist an diese Leitung ein Hydrospeicher 35 angeschlossen.

In Figur 9 ist dargestellt, wie ein hydraulischer Transformator 70 konstruktiv aufgebaut sein kann. Man erkennt eine drehbar gelagerte Welle 101, die beiden Einheiten 90 und 91 des hydraulischen Transformators gemeinsam ist. Auf der Welle sitzen fest und in einem Abstand voneinander zwei Trommeln 102, in die in einem festen Abstand zur Achse jeder Trommel 102 und in einem festen Winkelabstand voneinander eine Reihe von Axialbohrungen 103 eingebracht sind. Die Axialbohrungen 103 beider Trommeln 102 sind zur selben axialen Richtung hin offen. In jeder Axialbohrung 103 ist ein Axialkolben 104 verschiebbar, der einen volumenveränderlichen Arbeitsraum 105 zwischen seiner einen Stirnseite und dem Boden der jeweiligen Axialbohrung 103 begrenzt. Jeder Axialkolben 104 stützt sich mit einem kugelförmigen Kopf über einen Gleitschuh 106 an einer Schrägscheibe 107 ab, die um eine senkrecht durch die Achse der Welle 101 gehende Drehachse 108 verschwenkbar ist. Bei den beiden Einheiten 90 und 91 handelt es sich also um sogenannte Schrägscheiben-Axialkolbenmaschinen, deren prinzipieller Aufbau allgemein bekannt ist, so daß hier nicht näher darauf eingegangen werden muß. Wesentlich für den hydraulischen Transformator ist, daß die Primäreinheit 90 mechanisch mit der Sekundäreinheit 91 gekoppelt ist und diese antreibt. Es kann sich dabei im

Gegensatz zu der Ausführung nach Figur 9 auch um zwei einzelne Einheiten handeln, deren Welle über Verbindungsmittel miteinander gekoppelt sind.

In Figur 8 ist durch die unterschiedliche Richtungen der beiden Pfeile, die auf die Verstellbarkeit des Hubvolumens der beiden Einheiten 90 und 91 hinweisen, angedeutet, daß in einem Arbeitszyklus während des Abfalls des hydraulischen Druckes in der Leitung 86 die Einheiten 90 und 91 entgegengesetzt verstellt werden. Das Hubvolumen der Sekundäreinheit 91 wird von einem großen Wert zurückgefahren, während das Hubvolumen der Primäreinheit 90 von einem kleinen Wert hochgefahren wird. Dies kann nacheinander geschehen. Es kann aber auch gleichzeitig geschehen, wie dies bei der Ausführung nach Figur 10 der Fall ist. Dort sind die beiden die Verstellbarkeit des Hubvolumens andeutenden Pfeile durch einen Querstrich miteinander verbunden, wodurch eine mechanische Koppelung zwischen den beiden den Hub der Förderkolben bestimmenden Verstellelementen angedeutet ist. Es wird dann nur ein Stellglied zur Verstellung der Verstellelemente benötigt.

Der in Figur 11 gezeigte pneumatisch-hydraulische Wandler stimmt im Hinblick auf den Druckluftspeicher 15, die Ventile 14 und 83 sowie den Trennzylinder 73 und die Leitung 86 mit der Ausführung nach Figur 6 überein, weshalb die erwähnten Bauteile in Figur 11 nicht näher dargestellt sind. Im übrigen weist die Ausführung nach Figur 11 einen Resonator 112 auf, der mittels zweier periodisch betätigbarer Schaltventile 113 und 114 abwechselnd mit der Leitung 86 und damit mit einem zweiten Arbeitsraum 72 des Trennzylinders, mit einer Niederdruckleitung 115, die von einem Tank 81 ausgeht, der gegebenenfalls vorgespannt ist, und mit der Druckleitung 34 verbunden wird. Das Ventil 114 schaltet einen Ausgang 116 zwischen den beiden Leitungen 86 und 115 um. Das Ventil 113 wiederum schaltet einen Anschluß zwischen dem Ausgang 116 des Schaltventils 114 und der Druckleitung 34 um. Der Resonator 112 wird durch einen Zylinder 118 gebildet, in dem eine mit dem Anschluß 117 des Schaltventils 113 verbundene Druckkammer 119 durch einen beweglichen Kolben 120 begrenzt ist, der sich über eine Feder 121 an einer Stirnwand des Zylinders 118 abstützt. Der Kolben 120 bildet mit der Feder 121 ein Masse-Feder-System mit einer bestimmten Resonanzfrequenz.

Das während der Schaltverbindung mit der Leitung 86 bzw. mit der Niederdruckleitung 115 in die Druckkammer 119 geförderte Hydraulikfluid wird während der Verbindung der Druckkammer mit der Druckleitung 34 aufgrund der bei der hydraulischen Beaufschlagung des Kolbens 120 im Masse-Feder-System gespeicherten Energie in die Druckleitung 34 gefördert, wobei zur Glättung von Druckschwankungen an die Druckleitung 34 ein Hydrospeicher 35 angeschlossen ist. Aus der Leitung 34 wird die Hydromaschine 93 gespeist, die das Rad 85 eines mobilen Arbeitsgerätes antreibt.

Im Betrieb verbinden während eines Schaltzyklus-

ses die Schaltventile 113 und 114 die Druckkammer 119 des Resonators 112 zunächst mit der Leitung 86 während einer Zeit T1. Dann schaltet das Ventil 114 um, um die Verbindung der Druckkammer 119 mit der Niederdruckleitung 115 für eine Zeitspanne T2 herzustellen, in der aufgrund der Massenträgheit des Kolbens 120 Hydraulikfluid aus dem Tank 81 in die Druckkammer 119 nachgesaugt wird. Dann schaltet das Ventil 113 um und verbindet für eine Zeit T3 die Druckkammer 119 mit der Druckleitung 34. Wählt man für die Zeit T3 gerade die halbe Periodendauer, so kann der Kolben 120 während seiner ganzen Bewegung nach links, während er die Druckkammer 119 verkleinert, Hydraulikfluid in die Druckleitung 34 drücken. Der Volumenstrom durch den Resonator 112 hängt vor allem von der Schaltfrequenz der Ventilanordnung und von der auf die Periodendauer bezogenen Zeit T1 ab. Ist der Druck in der Druckleitung 34 kleiner als in der Leitung 86, so nimmt man für die Zeit T3 vorteilhafterweise die halbe Periodendauer und ändert den Volumenstrom durch gegensinnige Änderung der Zeiten T1 und T2. Sind die Drücke in den Leitungen 34 und 86 gleich groß, so kann T2 gleich null sein, während T1 und T3 jeweils der halben Periodendauer entsprechen. Beläßt man die Zeit T1 bei der halben Periodendauer und verkürzt man die Zeit T3 zugunsten der Zeit T2, so wird der Kolben 120 nach seiner Bewegungsumkehr bei maximalem Volumen der Druckkammer 119 von der Feder 121 gegen den niederen Druck in der Leitung 115 beschleunigt. Wird dann die Druckkammer 119 mit der Druckleitung 34 verbunden, so vermag der Kolben 120 aufgrund seiner kinetischen Energie auch dann Hydraulikfluid in die Druckleitung 34 zu verdrängen, wenn der Druck darin höher als der Druck in der Leitung 86 ist. Es gelingt somit, aus Druck und Volumenstrom in der Leitung 86 einen anderen Druck und einen anderen Volumenstrom in der Leitung 34 zu erzeugen. Der Druck in der Druckleitung 34 wird durch einen Druckgeber 125 und der Druck in der Leitung 86 durch einen Druckgeber 126 erfaßt. Die beiden Druckgeber wandeln den Druck in ein elektrisches Signal um, das zu einem elektrischen Steuergerät 127 gegeben wird, das die Elektromagnete 111 der beiden Ventile 113 und 114 steuert.

Patentansprüche

1. Pneumatisch-hydraulischer Wandler mit folgenden Merkmalen:

- a) ein Gas ist in einem Druckbehälter (15) gespeichert;
- b) ein Wandlerkolben (10, 11, 12) ist von aus dem Druckbehälter portionsweise in einen an den Wandlerkolben (10, 11, 12) angrenzenden Arbeitsraum (13) abgebbaren und sich darin entspannenden Gas verschiebbar;

c) von einer Hydropumpe (28, 32, 43, 50) ist ein Hydraulikfluid in eine Druckleitung (34) verdrängbar;

d) der Wandlerkolben (10, 11, 12) und die Hydropumpe (28, 32, 43, 50) sind nur über mechanische Koppelungsmittel (25, 26, 27, 30, 31; 25, 26, 27, 30, 37; 25, 30, 42; 51, 53, 57; 60, 62, 27) miteinander verbunden.

2. Pneumatisch-hydraulischer Wandler nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß über die mechanischen Koppelungsmittel eine Antriebswelle (27, 31, 42) der Hydropumpe (28, 32, 43) rotatorisch antreibbar ist.

3. Pneumatisch-hydraulischer Wandler nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Antriebswelle der Hydropumpe mit einem Schwungrad verbunden ist.

4. Pneumatisch-hydraulischer Wandler nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Antriebswelle bzw. das Schwungrad über in den mechanischen Koppelungsmitteln enthaltene Getriebemittel, die eine konstante Übersetzung aufweisen, antreibbar ist.

5. Pneumatisch-hydraulischer Wandler nach einem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Hydropumpe (28, 32, 43) in ihrem Hubvolumen in Abhängigkeit vom Weg des Wandlerkolbens (10, 11, 12) verstellbar ist.

6. Pneumatisch-hydraulischer Wandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Hydropumpe (28, 32, 43) in ihrem Hubvolumen in Abhängigkeit vom Druck des sich entspannenden Gases verstellbar ist.

7. Pneumatisch-hydraulischer Wandler nach einem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, daß mehrere versetzt zueinander arbeitende Wandlerkolben (10, 11, 12) mechanisch miteinander verbunden sind und sich gegenseitig zurückstellen.

8. Pneumatisch-hydraulischer Wandler nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß von mehreren versetzt zueinander arbeitenden Wandlerkolben (10, 11, 12) dieselbe Hydropumpe (28, 43) antreibbar ist.

9. Pneumatisch-hydraulischer Wandler nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwei gegensinnig zueinander arbeitende Wandler (10, 11) mechanisch miteinander verbunden sind.

10. Pneumatisch-hydraulischer Wandler nach einem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, daß von einem Wandlerkolben (10, 11) eine Zahnstange (25) antreibbar ist, mit der ein mit der Hydropumpe (28, 32, 43) verbundenes Ritzel (26, 30) kämmt. 5
11. Pneumatisch-hydraulischer Wandler nach den Ansprüchen 9 und 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden gegensinnig arbeitenden Wandlerkolben (10, 11) über eine Zahnstange (25) miteinander verbunden sind, daß mit der Zahnstange (25) ein mit der Hydropumpe (43) verbundenes Ritzel (30) kämmt und daß die Hydropumpe (43) derart ausgebildet ist, daß die Förderrichtung unabhängig von der Drehrichtung der Antriebswelle (42) der Hydropumpe (43) beibehalten werden kann. 10 15
12. Pneumatisch-hydraulischer Wandler mit folgenden Merkmalen: 20
- a) ein Gas ist in einem Druckbehälter (15) gespeichert;
 - b) ein Trennkolben (76) trennt einen ersten Arbeitsraum (79) von einem zweiten Arbeitsraum (72) eines Trennzylinders (73) und ist von aus dem Druckbehälter (15) portionsweise in den ersten Arbeitsraum (79) abgebbaren und sich darin entspannenden Gas verschiebbar und verdrängt dabei Hydraulikfluid aus dem zweiten Arbeitsraum (72); 25 30
 - c) in eine Druckleitung (34) ist ein Hydraulikfluid förderbar; 35
 - d) zwischen der Druckleitung (34) und dem zweiten Arbeitsraum (72) des Trennzylinders (73) ist ein hydraulischer Transformator (70) mit einer drehenden Primäreinheit (90) und einer von dieser mechanisch rotativ antreibbaren Sekundäreinheit (91) angeordnet, wobei zumindest eine der beiden Einheiten (90, 91) in ihrem Hubvolumen verstellbar ist. 40 45
13. Pneumatisch-hydraulischer Wandler mit folgenden Merkmalen:
- a) ein Gas ist in einem Druckbehälter (15) gespeichert; 50
 - b) ein Trennkolben (76) trennt einen ersten Arbeitsraum (79) von einem zweiten Arbeitsraum (72) eines Trennzylinders (73) und ist von aus dem Druckbehälter (15) portionsweise in den ersten Arbeitsraum (79) abgebbaren und sich darin entspannenden Gas verschiebbar und verdrängt dabei Hydraulikfluid aus dem 55
- zweiten Arbeitsraum (72);
- c) in eine Druckleitung (34) ist ein Hydraulikfluid förderbar;
 - d) zwischen der Druckleitung (34) und dem zweiten Arbeitsraum (72) ist ein Resonator (112) mit wenigstens einer Druckkammer (119) angeordnet, die durch ein gegen eine Feder (121) bewegbares Masseteil (120) begrenzt ist und die über eine Ventilanordnung (113, 114) zyklisch mit dem zweiten Arbeitsraum (72) des Trennzylinders (73), einer Niederdruckleitung (115) und der Druckleitung (34) verbindbar ist.
14. Pneumatisch-hydraulischer Wandler nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwei Trennkolben (76) abwechselnd Hydraulikfluid aus einem zweiten Arbeitsraum (72) in eine gemeinsame Leitung (86) verdrängen.
15. Pneumatisch-hydraulischer Wandler nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß die zwei Trennkolben zu einem einzigen doppelten Stufenkolben (76) zusammengefaßt sind.

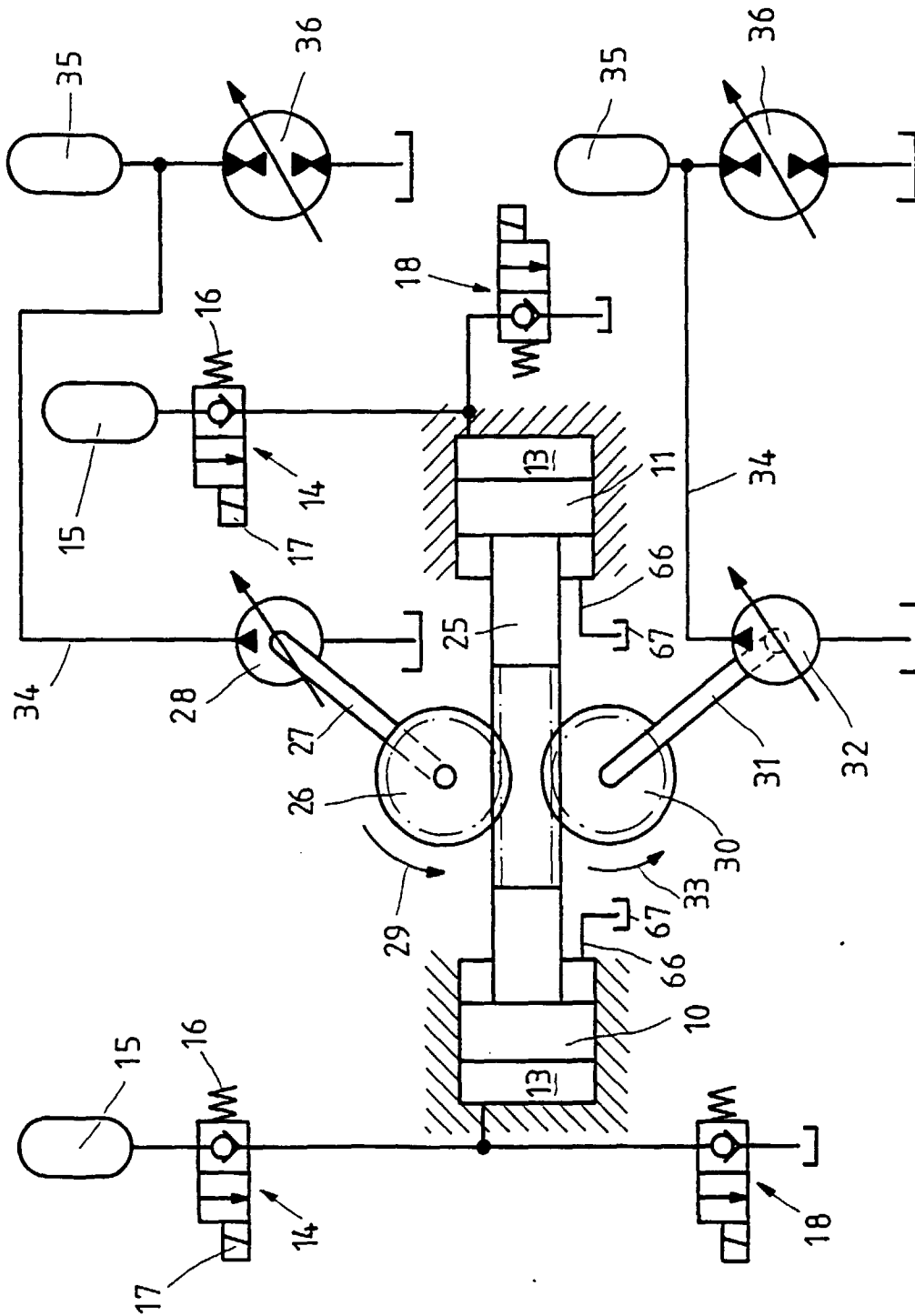
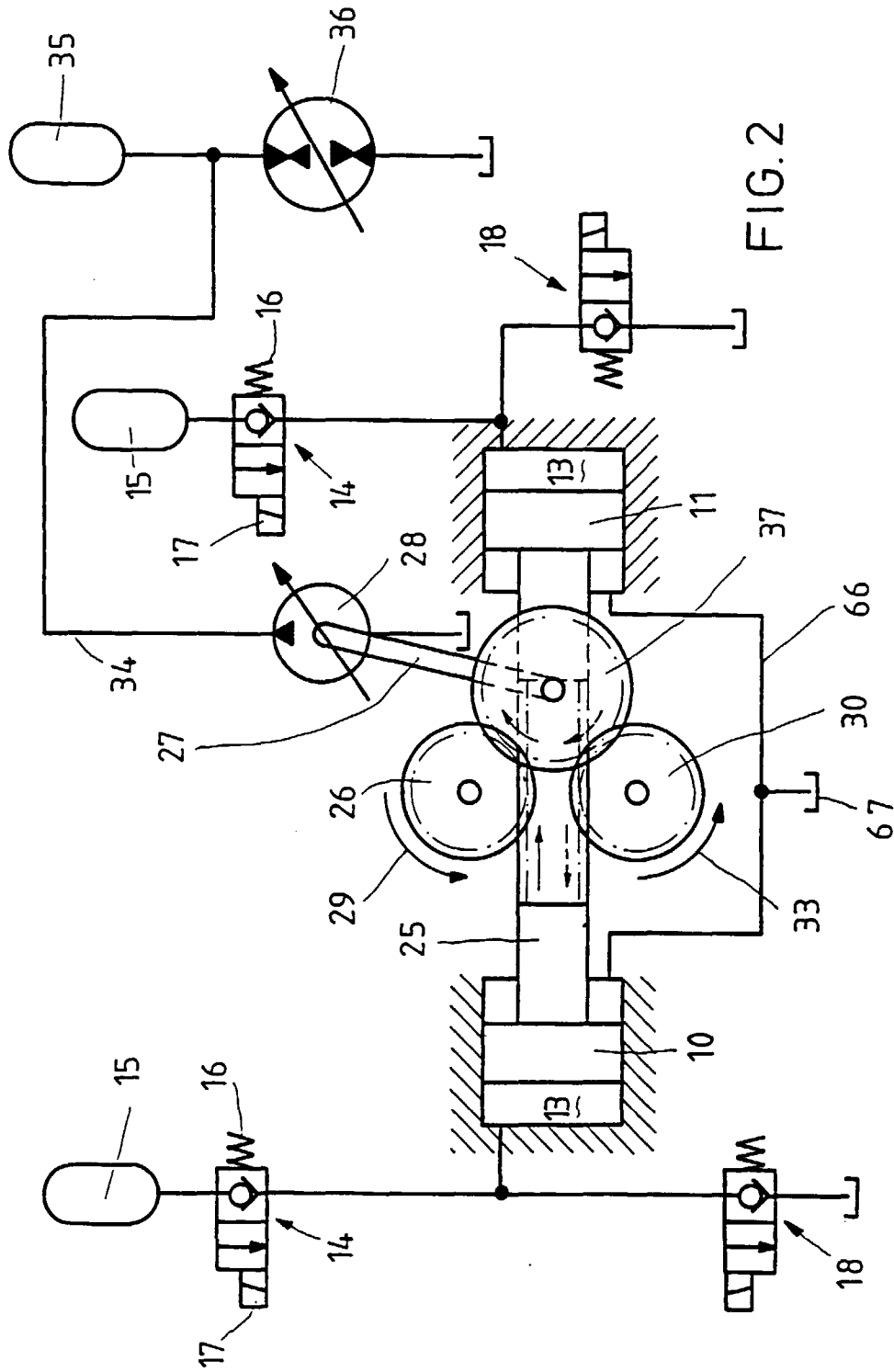


FIG.1



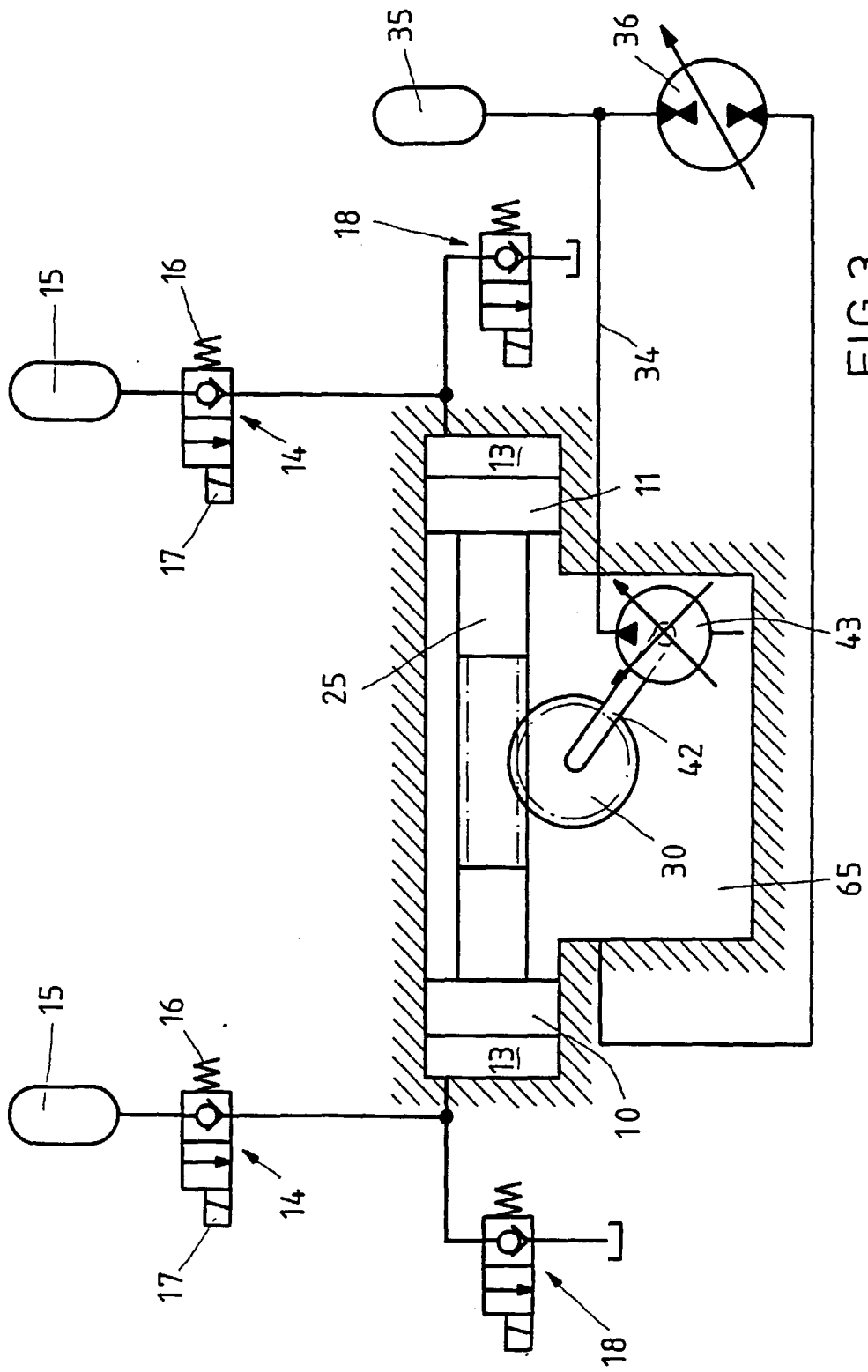


FIG. 3

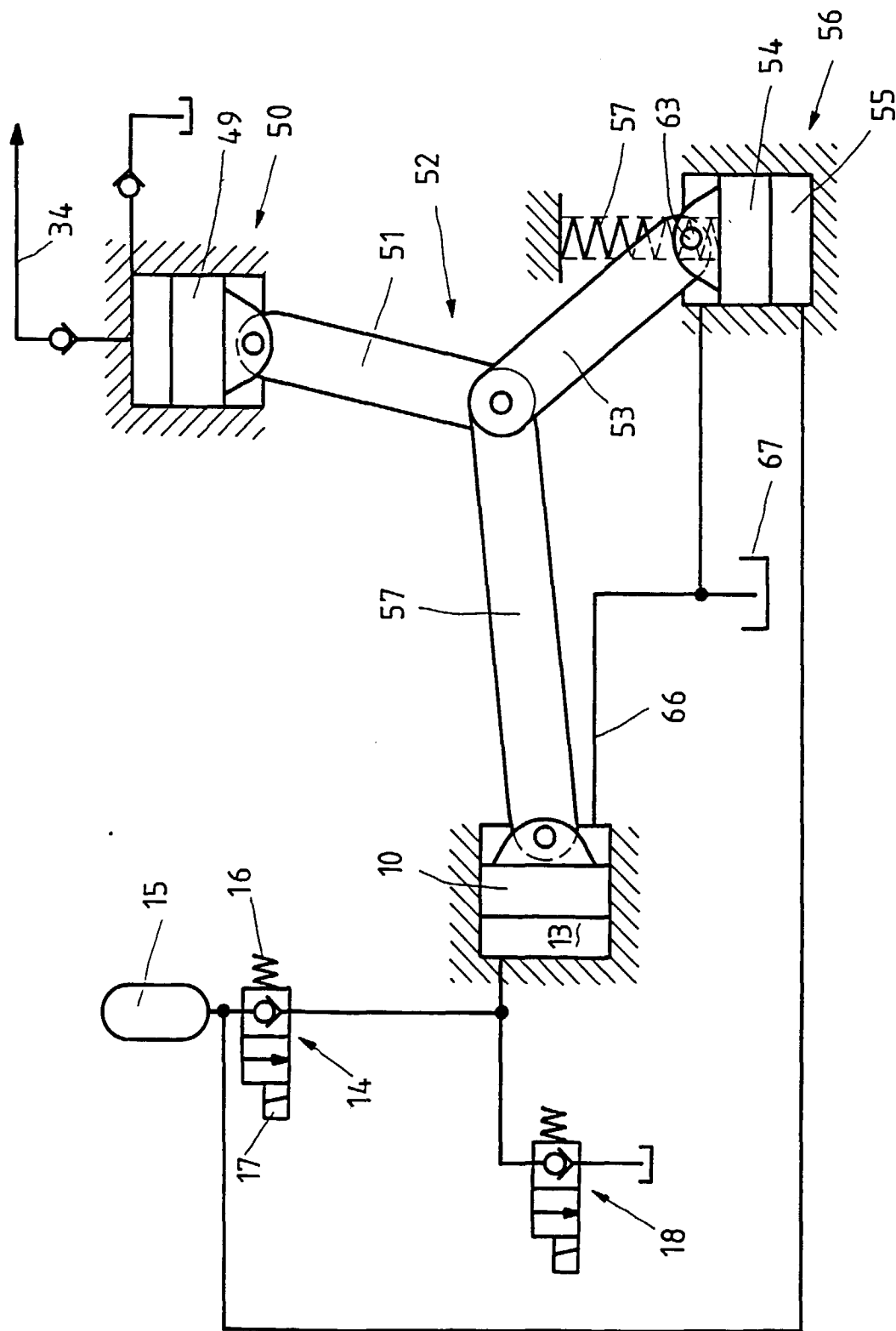


FIG. 4

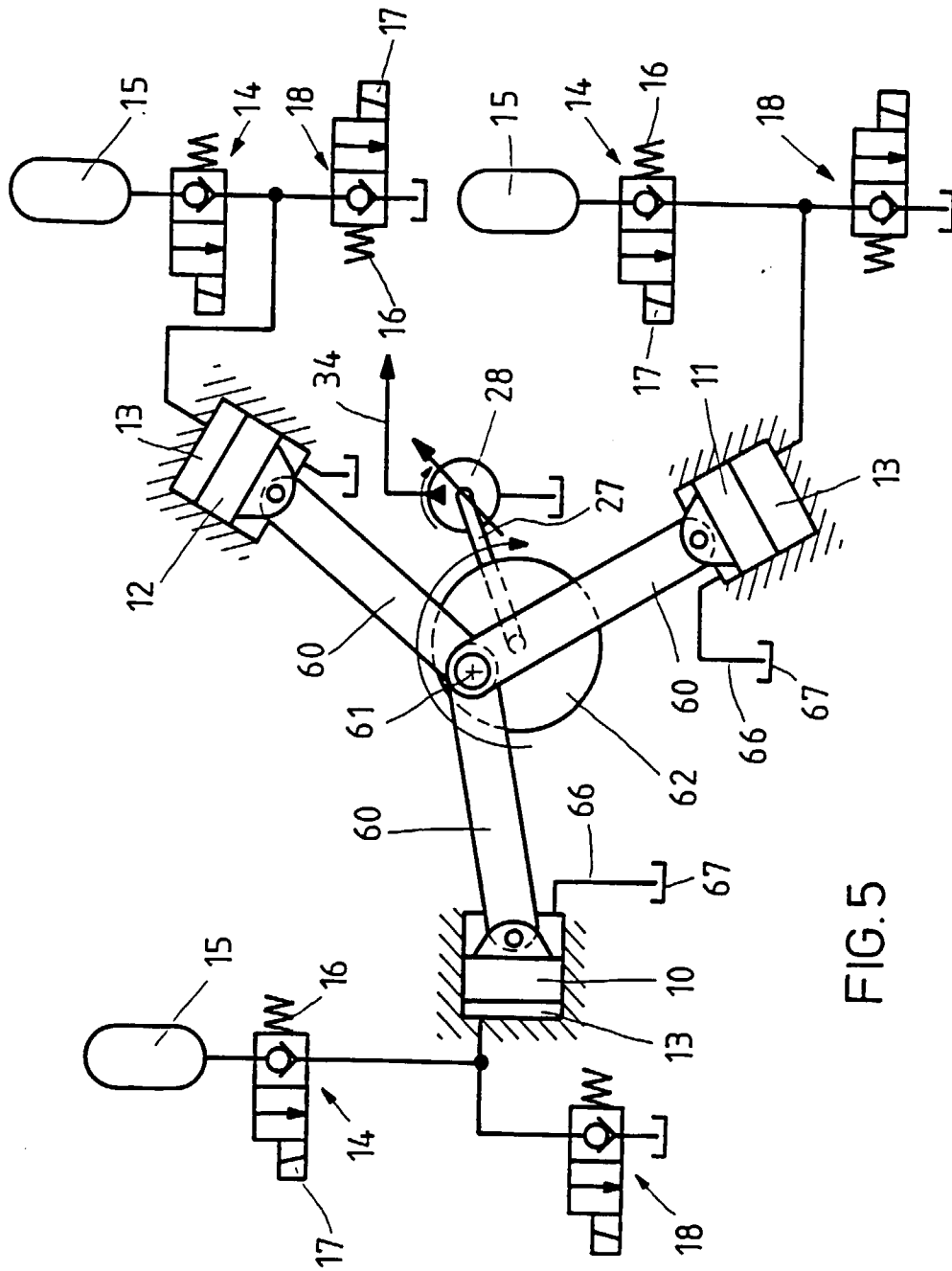


FIG. 5

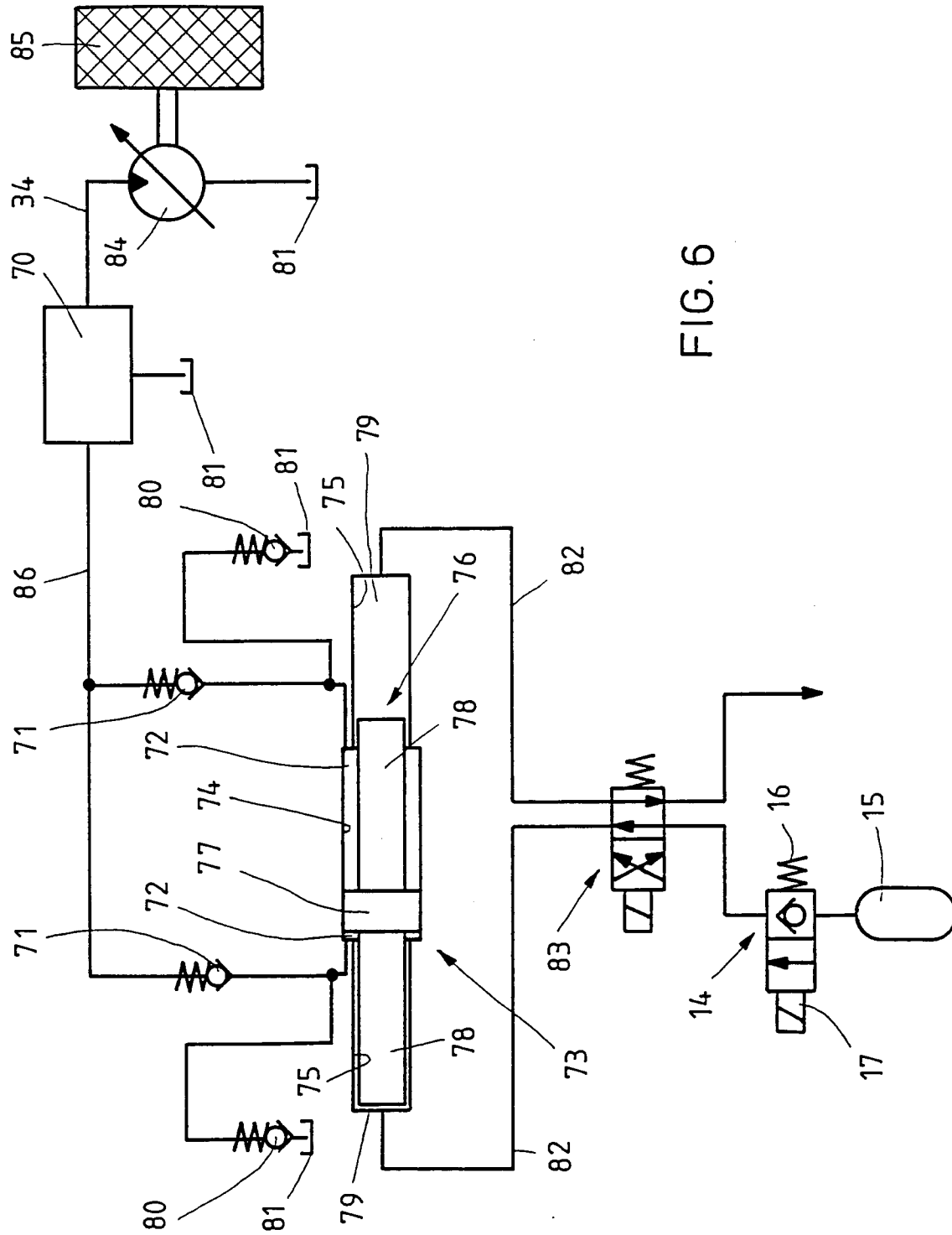


FIG. 6

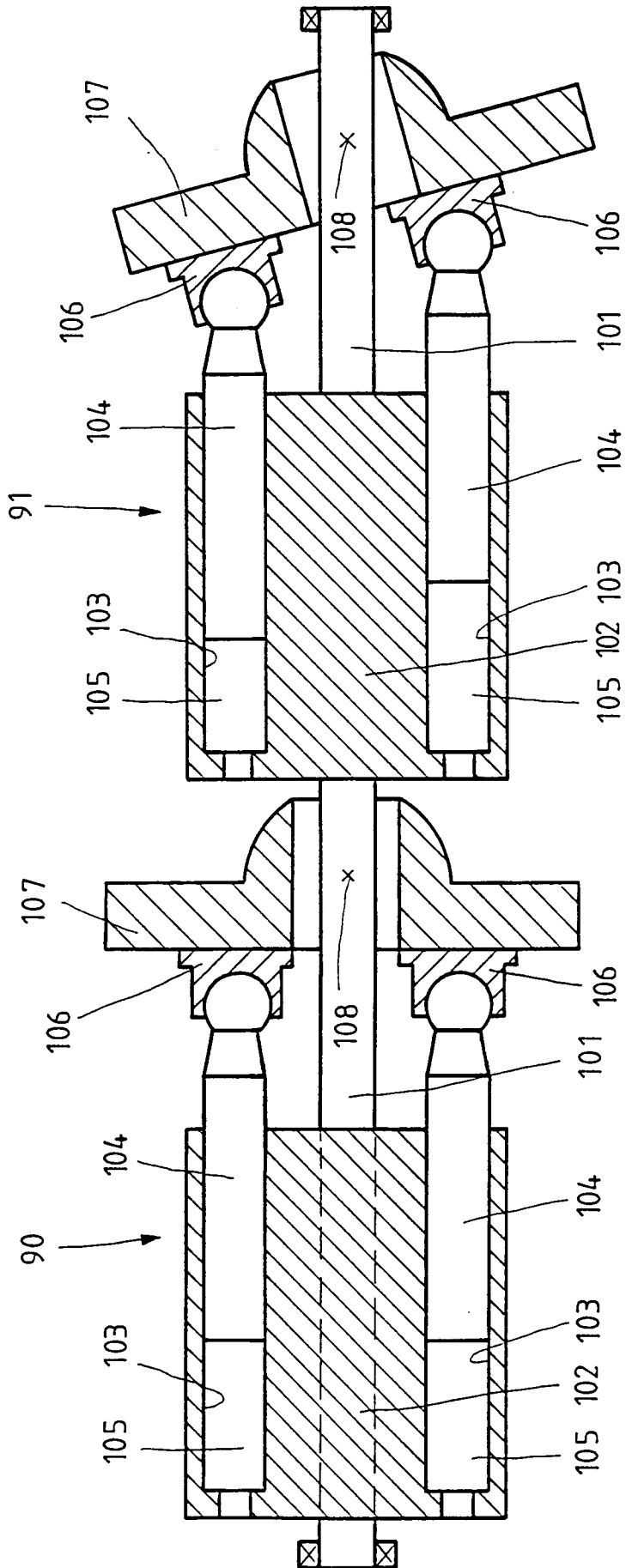


FIG.9

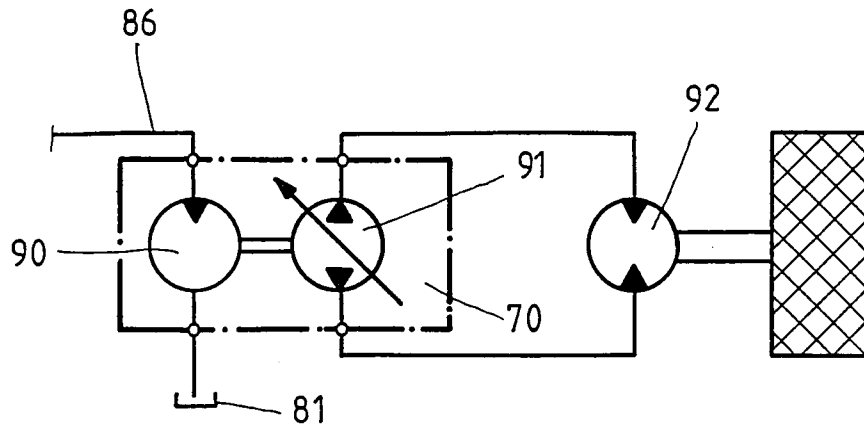


FIG. 7

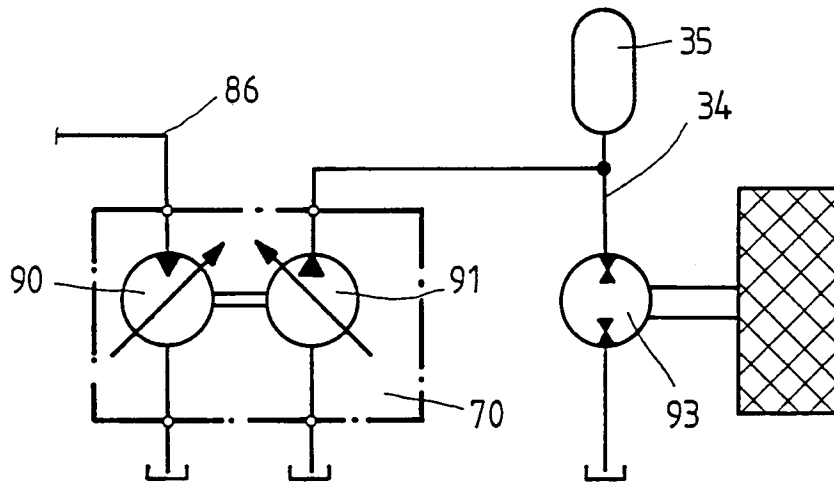


FIG. 8

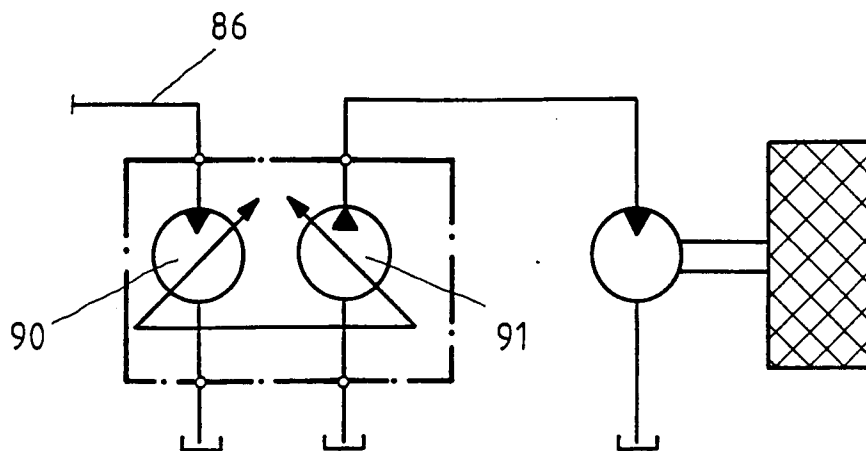


FIG. 10

