



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
03.11.1999 Patentblatt 1999/44

(51) Int. Cl.⁶: F04B 49/00, F04B 49/06

(21) Anmeldenummer: 99107900.5

(22) Anmeldetag: 21.04.1999

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder: **Dantlgraber, Jörg**
97816 Lohr am Main (DE)

(74) Vertreter:
Körfer, Thomas, Dipl.-Phys. et al
Mitscherlich & Partner,
Patent- und Rechtsanwälte,
Sonnenstrasse 33
80331 München (DE)

(30) Priorität: 27.04.1998 DE 19818721

(71) Anmelder: **Mannesmann Rexroth AG**
97816 Lohr am Main (DE)

(54) **Hydrostatische Maschine**

(57) Die Kolben (5) einer hydrostatischen Maschine (1) sind in Zylindern (4) bewegbar und einer zyklischen Hubbewegung unterworfen. Ein Steuerkörper (12) weist eine Niederdruck-Steueröffnung (13) und eine Hochdruck-Steueröffnung (14) auf, um die Zylinder (4) zyklisch, alternierend mit einer Niederdruckleitung und einer Hochdruckleitung zu verbinden. Ferner weist der Steuerkörper (12) eine Zusatzöffnung (20) zum Beaufschlagen der Zylinder (4) mit einem vorkomprimierten

Druckmedium auf. Erfindungsgemäß ist die Zusatzöffnung (20) mit einer geregelten oder gesteuerten Vorkompressionseinrichtung (23) verbunden, die durch eine Regel- oder Steuereinrichtung (24) so angesteuert wird, daß sich in den Zylindern (4) beim Übergang von der Niederdruck-Steueröffnung (13) zu der Hochdruck-Steueröffnung (14) ein kontinuierlicher, stetiger Druckaufbau einstellt.

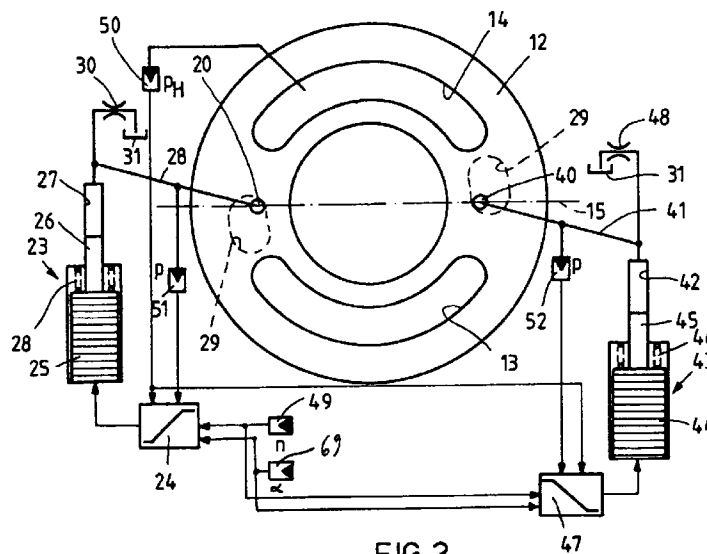


FIG. 3

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine hydrostatische Maschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Hydrostatische Maschinen sowohl in Axialkolbenbauweise als auch in Radialkolbenbauweise sind in vielfältiger Ausgestaltung bekannt. Bekanntermaßen weisen hydrostatische Maschinen einen Steuerkörper auf, um die Zylinder der entweder als Motor oder als Pumpe arbeitenden hydrostatischen Maschine zyklisch mit einer Hochdruckleitung und einer Niederdruckleitung zu verbinden. Dazu sind in dem Steuerkörper eine Niederdruck-Steueröffnung und eine Hochdruck-Steueröffnung ausgebildet. Die Zylinder werden während einer ersten Halbumdrehung der hydrostatischen Maschine mit der Hochdruck-Steueröffnung und während einer zweiten Halbumdrehung der hydrostatischen Maschine mit der Niederdruck-Steueröffnung verbunden.

[0003] Im Umsteuerbereich zwischen der Niederdruck-Steueröffnung und der Hochdruck-Steueröffnung kommt es aufgrund der auftretenden Druckpulsationen und Förderstompulsationen zu einer relativ starken Geräuscentwicklung. Beispielsweise in der DE-OS 21 52 524 wurde daher vorgeschlagen, durch Vorsteuerbohrungen im Anströmbereich der Steueröffnungen die Druck- und Förderstompulsationen zu verringern und so der Geräuscentwicklung entgegenzuwirken. In ähnlicher Weise wird beispielsweise in der DE-OS 22 08 890 vorgeschlagen, der Geräuscentwicklung durch Vorsteuernuten zu begegnen. In der letztgenannten Druckschrift wird als weitere Maßnahme zur Kavitationsverminderung und Verminderung der Geräuscentwicklung vorgeschlagen, die Umsteuerlage des Steuerkörpers in der Drehrichtung der Zylindertrommel der hydrostatischen Maschine geringfügig gegenüber der Totpunktlage zu verdrehen. Auf diese Weise wird beim Übergang von der Niederdruck-Steueröffnung zu der Hochdruck-Steueröffnung eine Vorkompression erzielt, d. h. das Druckmedium wird vor Erreichen der Hochdruck-Steueröffnung geringfügig vorverdichtet, so daß die Druckdifferenz zwischen der an der Hochdruck-Steuerleitung angeschlossenen Hochdruckleitung und dem in den Zylindern befindlichen Druckmedium vermindert oder im Idealfall sogar beseitigt ist. Der Nachteil dieser Vorgehensweise besteht jedoch darin, daß eine Optimierung der Verdrehung des Steuerkörpers nur für einen bestimmten Betriebspunkt, d. h. ein bestimmtes Verdrängungsvolumen und einen bestimmter Arbeitsdruck der hydrostatischen Maschine, erfolgen kann.

[0004] Ein weiterer erheblicher Nachteil besteht darin, daß das zur Vorverdichtung benötigte Druckmedium in dem Fördervolumen der beispielsweise als Pumpe arbeitenden hydrostatischen Maschine fehlt. Die durch Förderstromeinbrüche hervorgerufenen Förderstompulsationen führen ihrerseits zu einer Geräuscentwicklung. Eine gleichzeitige Beseitigung der Druckpulsationen und der Förderstompulsationen ist

mit den bekannten Maßnahmen nicht möglich. Zur Veranschaulichung zeigt Fig. 7 das von einer als Hydropumpe arbeitenden hydrostatischen Maschine abgegebene Fördervolumen. Das Fördervolumen ergibt sich als Summe der von den einzelnen an der Hochdruck-Steueröffnung vorbeigeführten Zylindern abgegebenen Forderteilvolumina, deren Verlauf annäherungsweise sinusförmig ist. In dem sinusförmigen Verlauf fehlt der in Fig. 7 schraffiert dargestellte vordere Flankenbereich, der für die Vorkompression zur Verringerung der Druckpulsation benötigt wird. Als Ergebnis ergibt sich die beschriebene Förderstompulsation.

[0005] Eine hydrostatische Maschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ist für eine hydrostatische Maschine in Axialkolbenbauweise aus der DE 42 29 544 A1 und für eine hydrostatische Maschine in Radialbauweise aus der DE 37 00 573 A1 bekannt. In diesen Druckschriften wird vorgeschlagen, den Steuerkörper der hydrostatischen Maschine mit einer zwischen der Niederdruck-Steueröffnung und der Hochdruck-Steueröffnung angeordneten Zusatzöffnung zu versehen, welche von zu den Zylindern führenden Verbindungsbohrungen in dem Umsteuerbereich zwischen der Niederdruck-Steueröffnung und der Hochdruck-Steueröffnung kurzzeitig überstrichen wird. Die Zusatzöffnung ist mit einem Vorkompressionsbehälter verbunden, welcher wiederum mit der Hochdruck-Steueröffnung bzw. der Hochdruckleitung über eine gedroselte Verbindungsleitung verbunden ist. Bei jedem Wechsel von der Niederdruck-Steueröffnung zu der Hochdruck-Steueröffnung werden die Zylinder daher kurzzeitig mit einem Vorkompressionsvolumen beaufschlagt. Zwar ergibt sich ein Vorteil gegenüber der bisher diskutierten Lösung insofern, als das Vorkompressionsvolumen extern zugeführt wird und die Förderstompulsation daher etwas vermindert ist. Ein Nachteil besteht jedoch darin, daß das Vorkompressionsvolumen durch die bauliche Größe des Vorkompressionsbehälters festgelegt ist und deshalb nur für einen Betriebspunkt optimiert werden kann. Ferner besteht ein erheblicher Nachteil darin, daß der Verlauf des Druckübergangs von dem in der Niederdruck-Steueröffnung herrschenden Niederdruck zu dem in der Hochdruck-Steueröffnung herrschenden Hochdruck weitgehend undefiniert ist und der Druck des Druckmediums in den Zylindern beim Erreichen der Hochdruck-Steueröffnung nicht mit dem in der Hochdruck-Steueröffnung herrschenden Hochdruck übereinstimmt. Durch die verbleibende Druckdifferenz ergeben sich zwar verminderte aber dennoch für die Geräuscentwicklung erhebliche Druck- und Förderstompulsationen.

[0006] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, die Geräuscentwicklung bei hydrostatischen Maschinen weiter zu vermindern und einer möglichen Kavitationsschädigung weiter entgegenzuwirken.

[0007] Die Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 in Verbindung mit den gattungsbildenden Merkmalen gelöst.

[0008] Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß durch Verbinden der Zusatzöffnung mit einer geregelten oder gesteuerten Vorkompressionseinrichtung, die von einer geeigneten Regel- oder Steuereinrichtung angesteuert wird, sich ein kontinuierlicher und stetiger Druckaufbau beim Übergang von der Niederdruck-Steueröffnung zu der Hochdruck-Steueröffnung erreichen läßt. Der von der Vorkompressionseinrichtung erzeugte Druckgradient läßt sich insbesondere an die Drehzahl der hydrostatischen Maschine und den in der Hochdruckleitung herrschenden Hochdruck anpassen. Durch die erfindungsgemäßen Maßnahmen läßt sich die Geräuschentwicklung der hydrostatischen Maschine erheblich vermindern und die Lebensdauer der hydrostatischen Maschine aufgrund einer vermiedenen Kavitationsschädigung erheblich verlängern.

[0009] Die Ansprüche 2 bis 14 betreffen vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung.

[0010] Bei einer hydrostatischen Maschine mit variabler Drehzahl ist es entsprechend Anspruch 2 vorteilhaft, einen Drehzahlsensor vorzusehen und die Vorkompressionseinrichtung durch die Regel- oder Steuereinrichtung so anzusteuern, daß das Zeitintervall, in welchem der Druck zwischen dem Niederdruck und dem Hochdruck aufgebaut wird, der Drehzahl der hydrostatischen Maschine umgekehrt proportional ist. Entsprechend kann bei einer hydrostatischen Maschine mit variablem Hochdruck in der Hochdruckleitung entsprechend Anspruch 3 vorteilhaft ein Drucksensor vorgesehen sein. Die Vorkompressionseinrichtung wird dabei so angesteuert, daß die Flankensteilheit bei dem Druckaufbau zwischen dem Niederdruck und dem Hochdruck dem Hochdruck in der Hochdruckleitung proportional ist. Dadurch wird erreicht, daß der Druckaufbau so langsam wie möglich erfolgt, wobei sichergestellt ist, daß sich das Druckmedium der Zylinder beim Erreichen der Hochdruck-Steueröffnung auf dem Hochdruck-Niveau befindet.

[0011] Vorteilhaft ist zwischen der Hochdruck-Steueröffnung und der Niederdruck-Steueröffnung der ersten Zusatzöffnung gegenüberliegend eine zweite Zusatzöffnung entsprechend Anspruch 4 angeordnet, um beim Übergang von der Hochdruck-Steueröffnung zu der Niederdruck-Steueröffnung einen kontinuierlichen und stetigen Druckabbau zu gewährleisten. Eine entsprechende Entlastungseinrichtung ansteuernde Regel- oder Steuereinrichtung kann dabei ebenfalls entsprechend Anspruch 5 und 6 mit einem Drehzahlsensor oder Drucksensor verbunden sein. Schließlich kann entsprechend Anspruch 7 auch in der oder den Zusatzöffnung(en) ein Drucksensor vorgesehen sein, um den Druckgradienten beim Übergang von dem Niederdruck-Niveau zu dem Hochdruck-Niveau bzw. umgekehrt von dem Hochdruck-Niveau zu dem Niederdruck-Niveau kontinuierlich zu regeln. Ferner kann entsprechend Anspruch 8 ein Sensor zum Erfassen des Verdrängungsvolumens der hydrostatischen Maschine vorgesehen sein.

[0012] Die Vorkompressionseinrichtung bzw. die Entlastungseinrichtung weist entsprechend Anspruch 9 einen vorzugsweise piezoelektrischen oder magnetostriktiven Aktor auf. Die Ansteuerung des piezoelektrischen oder magnetostriktiven Aktors kann durch eine geeignete elektronische Ansteuerschaltung erfolgen, die entsprechend Anspruch 10 einen Ladekondensator und ein Widerstandselement mit vorzugsweise veränderbarem Widerstand umfassen kann. Wenn der Aktor als piezoelektrischer Aktor ausgebildet ist, ist die Zeit für den elektrischen Ladungstransfer zwischen dem Ladekondensator und dem Aktor von dem Produkt aus der Kapazität des Ladekondensators und dem Widerstand des Widerstandselements abhängig. Durch Variation des Widerstands des Widerstandselements kann daher der von dem piezoelektrischen Aktor erzeugte Druckgradient beeinflußt werden. Ferner kann der von dem piezoelektrischen Aktor erzeugte Enddruck durch die Ladespannung, auf welche der Ladekondensator aufgeladen wird, variiert und an den in der Hochdruck-Steueröffnung herrschenden Hochdruck angepaßt werden. Wenn entsprechend Anspruch 13 für die Vorkompressionseinrichtung an der ersten Zusatzöffnung ein erster piezoelektrischer Aktor und für die Entlastungseinrichtung an der zweiten Zusatzöffnung ein zweiter piezoelektrischer Aktor vorgesehen sind, so kann die Betätigung der Aktoren auch in der Weise erfolgen, daß die elektrische Ladung zwischen den beiden Aktoren transferiert wird.

[0013] Anstatt eines piezoelektrischen Aktors oder eines magnetostriktiven Aktors kann auch beispielsweise eine Magnetpumpe, eine mechanische Pumpe, ein hydraulischer Druckübersetzer oder entsprechend Anspruch 14 ein entsprechend angesteuertes Steuerventil Verwendung finden.

[0014] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben. In der Zeichnung zeigen:

- 40 Fig. 1 einen Schnitt durch eine hydrostatische Maschine entsprechend einem ersten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel;
- 45 Fig. 2 eine Draufsicht auf den Steuerkörper der in Fig. 1 dargestellten hydrostatischen Maschine;
- 50 Fig. 3 eine Draufsicht auf den Steuerkörper und daran angeschlossene piezoelektrischer Aktoren entsprechend einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- 55 Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel für eine elektrische Ansteuerschaltung zur Ansteuerung der in den Fig. 1 bis 3 dargestellten piezoelektrischen Aktoren;
- Fig. 5 eine Draufsicht auf den Steuerkörper einer

hydrostatischen Maschine und daran angeschlossene Steuerventile entsprechend einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 6 ein Diagramm zur Verdeutlichung des Drucks in den Zylindern der hydrostatischen Maschine gemäß dem Stand der Technik und gemäß der Erfindung; und

Fig. 7 ein Diagramm zur Veranschaulichung des Förderstroms als Funktion des Drehwinkels für eine hydrostatischen Maschine entsprechend dem Stand der Technik.

[0015] Fig. 1 zeigt eine allgemein mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnete, erfindungsgemäße hydrostatische Maschine in Axialkolbenbauweise. Hydrostatische Maschinen in Axialkolbenbauweise sind allgemein bekannt, so daß sich die nachfolgende Beschreibung auf die hier wesentlichen Elemente beschränkt. Es wird betont, daß sich die vorliegende Erfindung in gleicher Weise auch bei hydrostatischen Maschinen in Radialkolbenbauweise verwirklichen läßt.

[0016] Bei der in Fig. 1 dargestellten Axialkolbenmaschine in Schrägscheibenbauweise ist eine Zylindertrommel 2 um eine Drehachse 3 drehbar gelagert. In der Zylindertrommel 2 sind entlang eines Kreises um die Drehachse 3 verteilt angeordnete Zylinder 4 in Form von Zylinderbohrungen vorgesehen, in welchen Kolben 5 axial bewegbar geführt sind. Die Kolben 5 weisen an ihrem aus der Zylindertrommel 2 herausragenden Ende jeweils einen Kugelkopf 6 auf, der in einer entsprechenden kugelförmigen Ausnehmung 7 von Gleitschuhen 8 schwenkbar gelagert ist. Die Gleitschuhe 8 stützen sich an der Gleitfläche 9 einer Schrägseibe 10 ab und sind mittels einer Drucktasche 11 hydraulisch entlastet. Der Schwenkwinkel α kann mittels einer geeigneten Verstellvorrichtung verstellbar sein. Die Zylinder 4 sind mittels eines im Ausführungsbeispiel scheibenförmig ausgebildeten Steuerkörpers 12 zyklisch alternierend mit einer Niederdruckleitung oder einer Hochdruckleitung verbindbar. Der Steuerkörper 12 ist in Fig. 2 in einer Draufsicht dargestellt, so daß eine Niederdruck-Steueröffnung 13 und eine Hochdruck-Steueröffnung 14 erkennbar sind. Die Totpunktlage der Kolben 5 ist durch die strichpunktierte Linie 15 markiert.

[0017] Wenn die hydrostatische Maschine 1 als Hydropumpe arbeitet, wird Druckmedium während einer ersten Halbumdrehung der Zylindertrommel 2 über die Niederdruck-Steueröffnung 13 in die Zylinder 4 angesaugt, wobei die Kolben 5 einen Saughub ausführen. Während der sich anschließenden Halbumdrehung der Zylindertrommel 2 führen die Kolben 5 einen Druckhub aus und pressen das Druckmedium über die Hochdruck-Steueröffnung 14 in die angeschlossenen Hochdruckleitung. Bei einer Arbeitsweise der hydrostatischen Maschine 1 als Hydromotor ist die Flußrichtung

des Druckmediums umgekehrt. Erfindungsgemäß ist zwischen der Niederdruck-Steueröffnung 13 und der Hochdruck-Steueröffnung 14 eine erste Zusatzöffnung 20 vorgesehen. Im in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Hochdruck-Steueröffnung 14 bezüglich der Totpunktlage 15 der Kolben 5 asymmetrisch ausgebildet, so daß die Anströmkante 21 der Hochdruck-Steueröffnung 14 ist bezüglich der Totpunktlage 15 weiter versetzt ist als die Abströmkante 22. Im Bereich zwischen der Totpunktlage 15 und der Anströmkante 21 der Hochdruck-Steueröffnung 14 wird daher eine Vorkompression erzielt. Um das für die Vorkompression benötigte Fördervolumen auszugleichen, wird über die erste Zusatzöffnung 20 und eine Vorkompressionseinrichtung 23 Druckmedium in die Zylinder 4 injiziert. Die Vorkompressionseinrichtung 23 wird dazu mittels einer Regel- oder Steuereinrichtung 24 so angesteuert, daß sich in den Zylindern 4 beim Übergang von der Niederdruck-Steueröffnung 13 zu der Hochdruck-Steueröffnung 14 ein kontinuierlicher, stetiger Druckaufbau ergibt.

[0018] Im in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel umfaßt die Vorkompressionseinrichtung 23 einen piezoelektrischen Aktor 25. Der piezoelektrische Aktor 25 besteht aus mehreren aufeinander gestapelten Keramikscheiben aus einem piezoelektrischen Material, beispielsweise Bariumtitanat. Die einzelnen Keramikscheiben sind beispielsweise durch Aufdampfen mit Elektroden versehen und so mit einem elektrischen Feld beaufschlagbar, daß die elektrische Feldrichtung in allen piezoelektrischen Keramikscheiben in der gleichen Richtung gerichtet ist. Bei geeigneter Orientierung der piezoelektrischen Keramikscheiben dehnen sich diese bei Anlegen einer elektrischen Spannung aus. Durch die gestapelte Anordnung einer Vielzahl von piezoelektrischen Keramikplatten läßt sich ein ausreichender Aktorhub erzielen, der bei Bedarf durch eine als solches bekannte hydraulische Übersetzung noch erhöht werden kann. Der piezoelektrische Aktor 25 wirkt auf einen Aktorkolben 26 ein, welcher in einem Aktorzylinder 27 axial bewegbar ist. Zur Rückstellung des Aktorkolbens dient eine Rückstellfeder 28.

[0019] Der Aktorzylinder ist über eine Verbindungsleitung 28 mit der ersten Zusatzöffnung 20 verbunden. Wenn die gestrichelt dargestellten Ausmündungen 29 der Zylinder 4 die erste Zusatzöffnung 20 überstreichen, wird der piezoelektrische Aktor 25 durch die Regel- oder Steuereinrichtung 24 so mit einer zunehmenden elektrischen Spannung beaufschlagt, daß sich die piezoelektrischen Keramikplatten zunehmend ausdehnen und durch Verschiebung des Aktorkolbens 26 den Druck in dem Aktorzylinder 27 zunehmend erhöhen. Die Ansteuerung erfolgt in der Weise, daß der Druck in der ersten Zusatzöffnung 20 bzw. dem mit dieser verbundenen Zylinder 4 sich ausgehend von dem in der Niederdruck-Steueröffnung 13 herrschenden Niederdruck zu dem in der Hochdruck-Steueröffnung 14 herrschenden Hochdruck kontinuierlich und stetig, bei-

spielsweise linear, erhöht. Dadurch, daß sich der Druck in den Zylindern 4 beim Erreichen der Hochdruck-Steueröffnung 14 auf dem Hochdruck-Niveau befindet, werden Druckpulsationen vermieden. Da das für die Vorkompression benötigte Druckmedium aus dem

Aktorzylinder 27 nachgepreßt wird, entstehen keine Einbrüche in dem Förderstrom der hydrostatischen Maschine 1, d. h. Förderstrompulsationen treten nicht auf.

[0020] Um die Vorkompressionseinrichtung 23 für die nächsten, vorzukomprimierenden Zylinder 4 bereitzustellen, wird die elektrische Spannung 25 des piezoelektrischen Aktors 25 nachfolgend abgeschaltet, so daß sich die piezoelektrischen Keramikplatten des piezoelektrischen Aktors 25 zusammenziehen und sich das Volumen des Aktorzylinders 27 wieder vergrößert. Das hierfür benötigte Druckmedium kann über eine geeignete Nachsaugedrossel 30 oder über ein Saugventil aus einem Druckmedium-Tank 31 nachgesaugt werden.

[0021] Fig. 3 zeigt eine Aufsicht auf einen Steuerkörper 12 einer hydrostatischen Maschine 1 entsprechend einem zweiten gegenüber dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 und 2 erweiterten Ausführungsbeispiel. Bereits beschriebene Elemente sind mit übereinstimmenden Bezugszeichen versehen, so daß sich insoweit ein wiederholende Beschreibung erübrigt.

[0022] Bei dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel ist zwischen der Hochdruck-Steueröffnung 14 und der Niederdruck-Steueröffnung 13 eine zweite Zusatzöffnung 40 vorgesehen. Die zweite Zusatzöffnung 40 ist über eine Verbindungsleitung 41 mit einem Aktorzylinder 42 einer Entlastungseinrichtung 43 verbunden. Die Entlastungseinrichtung 43 ist in gleicher Weise wie die Vorkompressionseinrichtung 23 aufgebaut, und weist einen piezoelektrischen Aktor 44, einen Aktorkolben 45 und eine Rückstellfeder 46 auf. Die Entlastungseinrichtung 43 wird von einer Regel- oder Steuereinrichtung 47 angesteuert. Zur Nachsaugung des Druckfluids ist eine Nachsaugedrossel 48 zwischen dem Druckmedium-Tank 31 und der Verbindungsleitung 41 vorgesehen. Die Entlastungseinrichtung 44 wird von der Regel- oder Steuereinrichtung 47 so angesteuert, daß sich in den Zylindern 4 beim Übergang von der Hochdruck-Steueröffnung 14 zu der Niederdruck-Steueröffnung 13 ein kontinuierlicher, stetiger Druckabbau ergibt. Bei dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel ist sowohl die erste Zusatzöffnung 20, als auch die zweite Zusatzöffnung 40 in der Totpunktlage 15 vorgesehen.

[0023] Zum Erfassen der Drehzahl n der Zylindertrommel 2 der hydrostatischen Maschine 1 ist ein Drehzahlsensor 49 vorgesehen, der mit den Regel- und Steuereinrichtungen 24 und 47 verbunden ist. Ferner ist zum Erfassen des in der Hochdruck-Steueröffnung 14 bzw. der daran angeschlossenen Hochdruckleitung herrschenden Hochdrucks ein Drucksensor 50 vorgesehen, der ebenfalls mit den Regel- oder Steuereinrich-

tungen 24 und 47 verbunden ist. Die Regel- oder Steuereinrichtungen 24 und 47 erzeugen zur Ansteuerung der piezoelektrischen Aktoren 25 und 44 einen elektrischen Steuerimpuls. Das Zeitintervall für die ansteigende Flanke zur Ansteuerung des piezoelektrischen Aktors 25 bzw. der abfallenden Flanke zur Ansteuerung des piezoelektrischen Aktors 44 ist dabei umgekehrt proportional zur Drehzahl n der Zylindertrommel 2. Je größer die Drehzahl n der Zylindertrommel 2, desto schneller erfolgt der Übergang von dem Druckniveau der Niederdruck-Steueröffnung 13 zu dem Druckniveau der Hochdruck-Steueröffnung 14 und umgekehrt. Die Flankensteilheit des Steuerpulses für die Aktoren 25 und 44 wird ferner durch das Niveau des Hochdrucks p_H in der Hochdruck-Steueröffnung 14 bestimmt, wobei die Amplitude des von den Regel- oder Steuereinrichtungen 24 und 47 erzeugten Steuerpulses dem Hochdruck p_H proportional ist. Dadurch wird erreicht, daß der Hub der piezoelektrischen Aktoren 25 und 44 der Druckdifferenz zwischen dem Niveau der Niederdruck-Steueröffnung 13 und der Hochdruck-Steueröffnung 14 proportional ist. Dabei wird davon ausgegangen, daß das Druckniveau der Niederdruck-Steueröffnung 13 im wesentlichen vernachlässigbar und zeitlich konstant ist. Der Drehzahlsensor 49 kann gleichzeitig zur Erfassung der Drehlagenposition der Zylindertrommel 2 und somit zur Synchronisation der Betätigungspulse für die piezoelektrischen Aktoren 25 und 44 bezüglich der Lage der Ausmündungen 29 der Zylinderbohrungen 4 dienen.

[0024] Wie in Fig. 3 ferner gezeigt, kann zusätzlich jeweils ein Drucksensor 51 und 52 zum Erfassen des Ist-Drucks an der ersten Zusatzöffnung 20 bzw. an der zweiten Zusatzöffnung 40 vorgesehen sein. Dadurch können die Regel- oder Steuereinrichtungen 24 und 47 den durch die piezoelektrischen Aktoren 25 und 44 bestimmten Ist-Druck an einen vorgegebenen Soll-Druck zu jedem Zeitpunkt des Steuerpulses angleichen, so daß der Druckgradient in den Zusatzöffnungen 20 und 44 einem vorgegebenen Idealverlauf nachgeführt bzw. nachgeregelt wird.

[0025] Ferner ist es vorteilhaft, das Verdrängungsvolumen der hydrostatischen Maschine 1 mittels eines Verdrängungsvolumensensors 69 zu erfassen. Bei einer hydrostatischen Maschine 1 in Axialkolbenbauweise kann mittels eines geeigneten Sensors, beispielsweise eines Drehpotentiometers, der in Fig. 1 eingezeichnete Schwenkwinkel α der Schrägscheibe 10 erfaßt werden. Dabei ist der Schwenkwinkel α dem Verdrängungsvolumen der hydrostatischen Maschine 1, d. h. dem Hubvolumen in den Zylindern 4, proportional. Da das für die Vorkompression benötigte, über die Zusatzöffnung 20 injizierte Volumen des Druckmediums nicht nur von dem in der Hochdruck-Steueröffnung 14 herrschenden Hochdruck, sondern auch von dem in den Zylindern 4 befindlichen Volumen abhängt, kann auf der Grundlage des zusätzlich erfaßten Verdrängungsvolumens bzw. Schwenkwinkels α der hydrostati-

schen Maschine 1 das auf den piezoelektrischen Aktor 25 einwirkende Steuersignal, insbesondere die Amplitude dieses Steuersignals, noch exakter bestimmt werden. Je größer das Hubvolumen in den Zylindern 4 ist, desto größer ist die über die Zusatzöffnung 20 zu injizierende Kompressionsmenge, bei jeweils gleichem Hochdruck p_H . Je größer das Verdrängungsvolumen und somit das Hubvolumen in den Zylindern 4 ist, desto größer ist deshalb die Amplitude des den piezoelektrischen Aktors 25 ansteuernden Steuersignals zu wählen. Dies gilt in entsprechender Weise auch für die Ansteuerung der Entlastungseinrichtung 43 mit dem piezoelektrischen Aktor 44.

[0026] Die Regel- oder Steuereinrichtungen 24 und 47 können eine in Fig. 4 schematisch dargestellte elektrische Ansteuerschaltung umfassen. Dabei wird ein Ladekondensator C mittels einer variablen Spannungsquelle V über einen Schalter S_2 auf eine vorgegebene Ladespannung aufgeladen, die dem in der Hochdruck-Steueröffnung 14 aktuell herrschenden Hochdruck p_H und/oder dem Verdrängungsvolumen, insbesondere dem Schwenkwinkel α , der hydrostatischen Maschine 1 proportional ist. Nach dem Aufladen des Ladekondensators C wird der Schalter S_2 geöffnet. Die Betätigung des piezoelektrischen Aktors 25 erfolgt über ein Widerstandselement R mit variablem Widerstand. Der Widerstand R ist dabei umgekehrt proportional zu der mittels des Sensors 49 erfaßten Drehzahl n der Zylindertrommel 2. Zur Betätigung des piezoelektrischen Aktors 25 wird der zweite Schalter S_1 geschlossen und die Ladung des Ladekondensators C über das Widerstandselement R auf den piezoelektrischen Aktor 24 transferiert. Die Zeitdauer des Ladungstransfers wird dabei durch das variable Widerstandselement R bestimmt, während der Hub des piezoelektrischen Aktors 25 durch die Ladespannung des Ladekondensators C vorgegeben ist und von dem mittels des Drucksensors 50 erfaßten Hochdruck p_H und/oder dem Verdrängungsvolumen der hydrostatischen Maschine 1 abhängig ist.

[0027] Fig. 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung. Dargestellt ist eine Draufsicht auf den Steuerkörper 12. Auch hier sind bereits beschriebene Elemente mit übereinstimmenden Bezugszeichen versehen.

[0028] Im Unterschied zu dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel dient als Vorkompressionseinrichtung 23 bzw. als Entlastungseinrichtung 43 nicht ein piezoelektrischer Aktor, sondern jeweils ein Steuerventil 70 bzw. 71, das in dem dargestellten Ausführungsbeispiel als 3/2-Wegeventil ausgebildet ist. Dabei ist ein Ventilkörper mittels einer z. B. als Proportionalmagnet ausgebildeten elektrischen Betätigungseinrichtung 72 bzw. 73 gegen eine Rückstellfeder 74 bzw. 75 verstellbar. In der in Fig. 5 dargestellten Grundstellung ist die zu der ersten Zusatzöffnung 20 des Steuerkörpers 12 führende Verbindungsleitung 28 unterbrochen. Mit zunehmender Beaufschlagung der elektrischen Betäti-

gungseinrichtung 72 wird die Verbindungsleitung 28 zunehmend über eine Drossel 74 mit der Hochdruck-Steueröffnung 14 bzw. der daran angeschlossenen Hochdruckleitung verbunden, so daß sich der Druck an der ersten Zusatzöffnung 20 zunehmend erhöht. Auf diese Weise läßt sich ein kontinuierlicher, stetiger Druckaufbau ausgehend von dem Niveau der Niederdruck-Steueröffnung 13 bis zum Niveau der Hochdruck-Steueröffnung 14 an der ersten Zusatzöffnung 20 erreichen. Die Ansteuerung der elektrischen Betätigungseinrichtung 72 erfolgt mittels der Regel- oder Steuereinrichtung 24 in ähnlicher Weise wie die Ansteuerung des in den Fig. 3 und 4 beschriebenen Aktors 25.

[0029] In gleicher Weise ist die von der zweiten Zusatzöffnung 40 kommende Verbindungsleitung 41 in der in Fig. 5 dargestellten Grundstellung unterbrochen. Mit zunehmender Beaufschlagung der elektrischen Betätigungseinrichtung 73 wird der Ventilkörper des Steuerventils 71 zunehmend gegen die Rückstellfeder 75 verschoben, so daß das Steuerventil 71 zunehmend öffnet und eine Entlastung der zweiten Zusatzöffnung 40 über eine Drossel 76 zu dem Druckmedium-Tank 31 ermöglicht. Die Ansteuerung der elektrischen Betätigungseinrichtung 73 erfolgt dabei mittels der Regel- oder Steuereinrichtung 47 in ähnlicher Weise wie die Ansteuerung des piezoelektrischen Aktors 44 in Fig. 3.

[0030] Fig. 6 zeigt den Druck p in den Zylindern 4 als Funktion des Drehwinkels φ der Zylindertrommel 2. Dabei ist ein Vergleich des Druckverlaufs bei konventionell ausgebildeten hydrostatischen Maschinen mit dem Druckverlauf einer erfindungsgemäß ausgebildeten hydrostatischen Maschine für zwei verschiedene Arbeitsdrücke bzw. Hochdrücke p_2 und p'_2 dargestellt. Die Druckverläufe für konventionell ausgebildete hydrostatische Maschinen sind dabei als durchgezogene Linien dargestellt, während die Druckverläufe für eine erfindungsgemäß ausgebildeten hydrostatische Maschine durch strichpunktierte Linien dargestellt sind. Erkennbar ist bei dem Druckverlauf einer konventionellen hydrostatischen Maschine die Druckpulsation in den beiden Umsteuerbereichen. Durch die erfindungsgemäße geregelte oder gesteuerte Vorkompression bzw. Entlastung in den Umsteuerbereichen wird ein kontinuierlicher, stetiger Druckaufbau bzw. Druckabbau unter Vermeidung von Druckspitzen erreicht. Dadurch kann die Geräuschemission der hydrostatischen Maschine erheblich vermindert werden. Ferner wird einer Kavitationsschädigung entgegengewirkt.

[0031] Anstelle piezoelektrischer oder magnetostriktiver Aktoren können als Vorkompressionseinrichtung bzw. Entlastungseinrichtung auch z. B. eine Magnetpumpe, eine direkt angetriebene mechanische Pumpe oder eine von einem Elektromotor mit variabler Drehzahl angetriebene mechanische Pumpe eingesetzt werden.

Patentansprüche

1. Hydrostatische Maschine (1) mit Kolben (5), die in Zylindern (4) bewegbar sind und einer zyklischen Hubbewegung unterworfen sind, und mit einem Steuerkörper (12), der eine Niederdruck-Steueröffnung (13) und eine Hochdruck-Steueröffnung (14) zum zyklischen, alternierenden Verbinden der Zylinder (4) mit einer Niederdruckleitung und einer Hochdruckleitung sowie eine zwischen der Niederdruck-Steueröffnung (13) und der Hochdruck-Steueröffnung (14) angeordnete erste Zusatzöffnung (20) zum Beaufschlagen der Zylinder (4) mit einem vorkomprimierten Druckmedium aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die erste Zusatzöffnung (20) mit einer geregelten oder gesteuerten Vorkompressionseinrichtung (23) verbunden ist, die durch eine Regel- oder Steuereinrichtung (24) so angesteuert wird, daß sich in den Zylindern (4) beim Übergang von der Niederdruck-Steueröffnung (13) zu der Hochdruck-Steueröffnung (14) ein kontinuierlicher, stetiger Druckaufbau einstellt.
2. Hydrostatische Maschine nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein mit der Regel- oder Steuereinrichtung (24) verbundener Drehzahl- und Positionssensor (49) vorgesehen ist, der die Drehzahl (n) der hydrostatischen Maschine (1) erfaßt, und daß die Vorkompressionseinrichtung (23) von der Regel- oder Steuereinrichtung (24) so angesteuert wird, daß diese den Druck in der ersten Zusatzöffnung (20) des Steuerkörpers (12) von dem in der Niederdruck-Steueröffnung (13) herrschenden Niederdruck zu dem in der Hochdruck-Steueröffnung (14) herrschenden Hochdruck in einem Zeitintervall aufbaut, das der Drehzahl (n) der hydrostatischen Maschine (1) umgekehrt proportional ist.
3. Hydrostatische Maschine nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein mit der Regel- oder Steuereinrichtung (24) verbundener Drucksensor (50) vorgesehen ist, der den Hochdruck (p_H) in der Hochdruckleitung (14) erfaßt, und daß die Vorkompressionseinrichtung (23) von der Regel- oder Steuereinrichtung (24) so angesteuert wird, daß diese den Druck in der ersten Zusatzöffnung (20) des Steuerkörpers (12) von dem in der Niederdruck-Steueröffnung (13) herrschenden Niederdruck zu dem in der Hochdruck-Steueröffnung (14) herrschenden Hochdruck (p_H) mit einer Flankensteilheit aufbaut, die dem Hochdruck (p_H) in der Hochdruckleitung proportional ist.
4. Hydrostatische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
- dadurch gekennzeichnet**, daß der Steuerkörper (12) eine zwischen der Hochdruck-Steueröffnung (14) und der Niederdruck-Steueröffnung (13) angeordnete zweite Zusatzöffnung (40) aufweist, und daß die zweite Zusatzöffnung (40) mit einer geregelten oder gesteuerten Entlastungseinrichtung (43) verbunden ist, die durch eine Regel- oder Steuereinrichtung (47) so angesteuert wird, daß sich in den Zylindern (4) beim Übergang von der Hochdruck-Steueröffnung (14) zu der Niederdruck-Steueröffnung (13) ein kontinuierlicher, stetiger Druckabbau einstellt.
5. Hydrostatische Maschine nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein mit der Regel- oder Steuereinrichtung (47) verbundener Drehzahlsensor (n) vorgesehen ist, der die Drehzahl (n) der hydrostatischen Maschine (1) erfaßt, und daß die Entlastungseinrichtung (43) von der Regel- oder Steuereinrichtung (47) so angesteuert wird, daß diese den Druck in der zweiten Zusatzöffnung (40) des Steuerkörpers (12) von dem in der Hochdruck-Steueröffnung (14) herrschenden Hochdruck zu dem in der Niederdruck-Steueröffnung (13) herrschenden Niederdruck in einem Zeitintervall abbaut, das der Drehzahl (n) der hydrostatischen Maschine (1) umgekehrt proportional ist.
6. Hydrostatische Maschine nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein mit der Regel- oder Steuereinrichtung (47) verbundener Drucksensor (50) vorgesehen ist, der den Hochdruck (p_H) in der Hochdruckleitung erfaßt, und daß die Entlastungseinrichtung (43) von der Regel- oder Steuereinrichtung (47) so angesteuert wird, daß diese den Druck in der zweiten Zusatzöffnung (40) des Steuerkörpers (12) von dem in der Hochdruck-Steueröffnung (14) herrschenden Hochdruck (p_H) zu dem in der Niederdruck-Steueröffnung (13) herrschenden Niederdruck mit einer Flankensteilheit abbaut, die dem Hochdruck (p_H) in der Hochdruckleitung proportional ist.
7. Hydrostatische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein mit der Regel- oder Steuereinrichtung (24, 27) verbundener Drucksensor (51) vorgesehen ist, der den Ist-Druck in der ersten Zusatzöffnung (20) und/oder der zweiten Zusatzöffnung (40) erfaßt, und daß die Regel- oder Steuereinrichtung (24, 47) den Ist-Druck in der ersten Zusatzöffnung (20) und/oder der zweiten Zusatzöffnung (40) auf einen sich zeitlich ändernden Soll-Druck einregelt.
8. Hydrostatische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

dadurch gekennzeichnet,

daß ein mit der Regel- oder Steuereinrichtung (24, 27) verbundener Verdrängungsvolumensensor (69) vorgesehen ist, der das Verdrängungsvolumen der hydrostatischen Maschine (1) erfaßt, und
 5 daß die Regel- und Steuereinrichtung (24, 27) die Vorkompressionseinrichtung (23) und/oder die Entlastungseinrichtung (43) in Abhängigkeit von dem erfaßten Verdrängungsvolumen der hydrostatischen Maschine (1) ansteuert.
 10

dadurch gekennzeichnet,

daß die Vorkompressionseinrichtung (23) und ggf. die Entlastungseinrichtung (43) ein Steuerventil (70; 71) aufweist, das von der Regel- oder Steuereinrichtung (24; 47) angesteuert wird.

9. Hydrostatische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Vorkompressionseinrichtung (23) und ggf. die Entlastungseinrichtung (43) einen piezoelektrischen oder magnetostriktiven Aktor (25; 44) aufweist, der auf einen Aktorkolben (26; 45) einwirkt, welcher in einem mit der zugeordneten Zusatzöffnung (20; 40) verbundenen Aktorzylinder (27; 42)
 15 verschiebbar ist.
 20

10. Hydrostatische Maschine nach Anspruch 9,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Regel- oder Steuereinrichtung (24; 47) eine elektrische Ansteuerschaltung umfaßt, bei welcher der piezoelektrische Aktor (25) von bzw. zu einem Ladekondensator (C) über ein Widerstandselement (R) mit vorgegebenem Widerstand geladen bzw. entladen wird.
 25
 30

11. Hydrostatische Maschine nach Anspruch 10,

dadurch gekennzeichnet,

daß der Widerstand des Widerstandselements (R) von der Drehzahl (n) der hydrostatischen Maschine (1) abhängig ist.
 35

12. Hydrostatische Maschine nach Anspruch 9 oder 10,

dadurch gekennzeichnet,

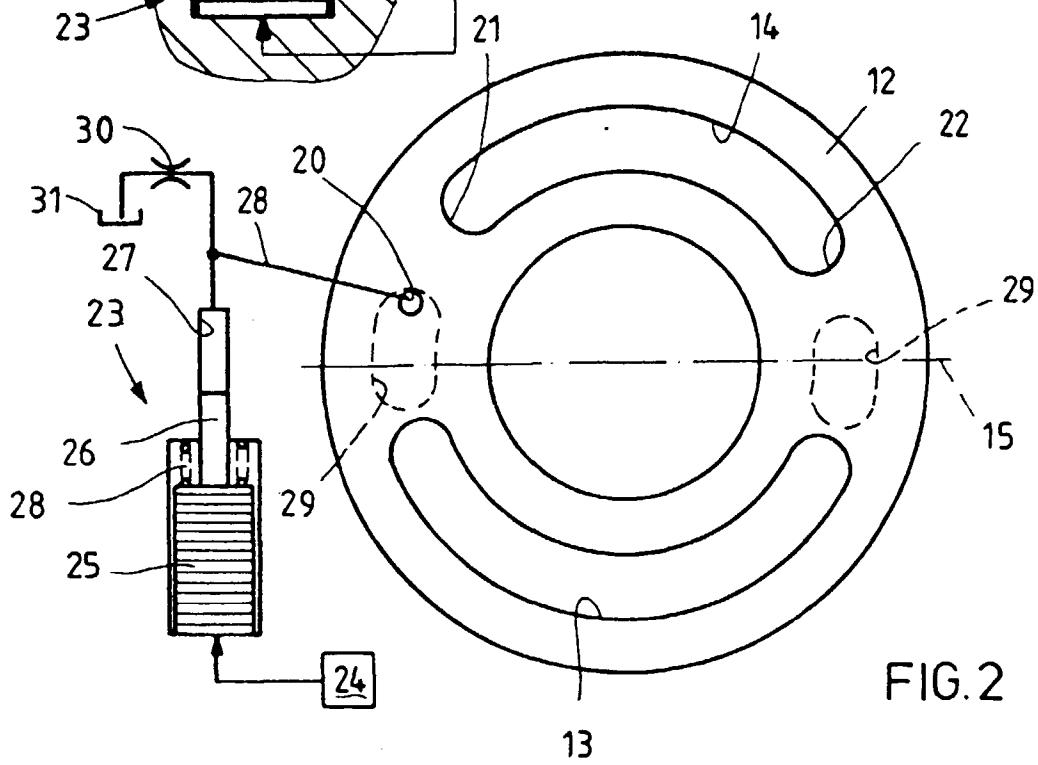
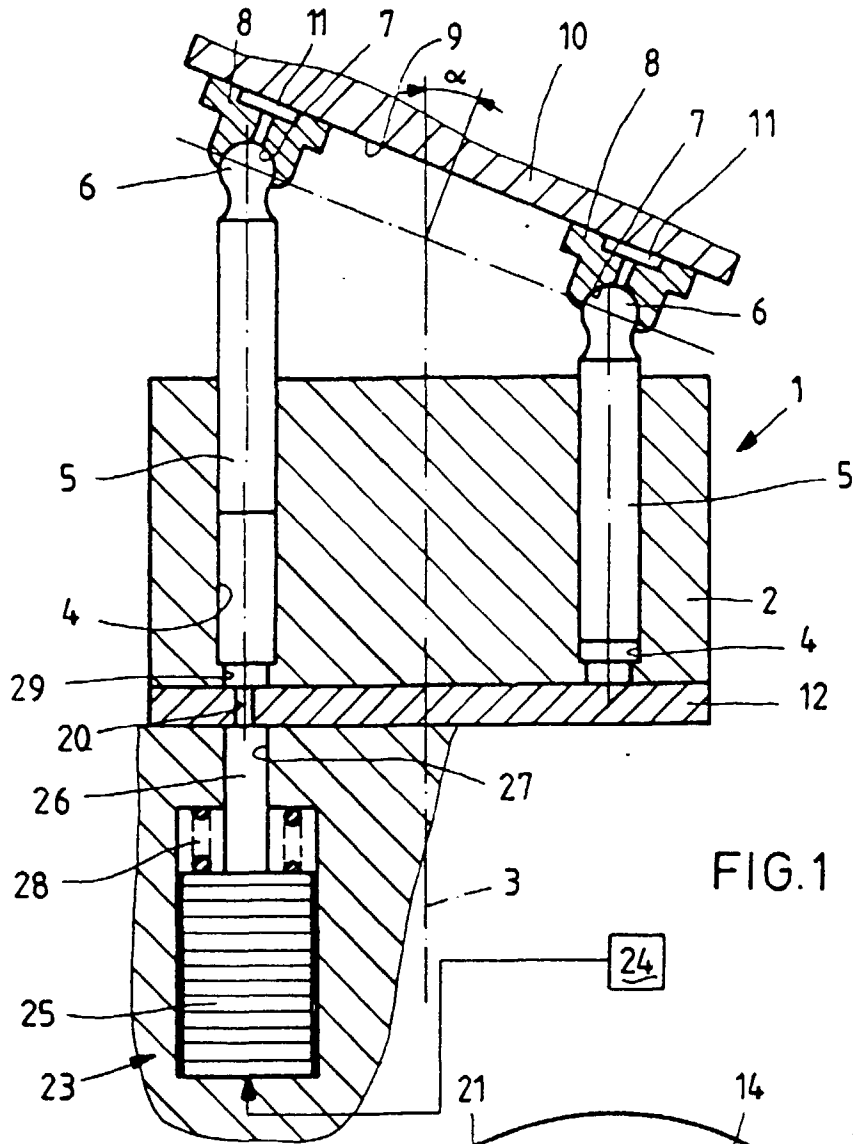
daß der Ladekondensator (C) auf eine Ladespannung aufgeladen wird, die von dem in der Hochdruckleitung herrschenden Hochdruck (p_H) abhängt.
 40
 45

13. Hydrostatische Maschine nach Anspruch 4 und einem der Ansprüche 9 bis 12,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Vorkompressionseinrichtung (23) einen ersten piezoelektrischen Aktor (25) und die Entlastungseinrichtung (43) einen zweiten piezoelektrischen Aktor (44) aufweist und eine elektrische Ladung bei der Betätigung eines der Aktoren (25; 44) auf den bzw. von dem jeweils anderen Aktor (44; 25) umgeladen wird.
 50
 55

14. Hydrostatische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8,



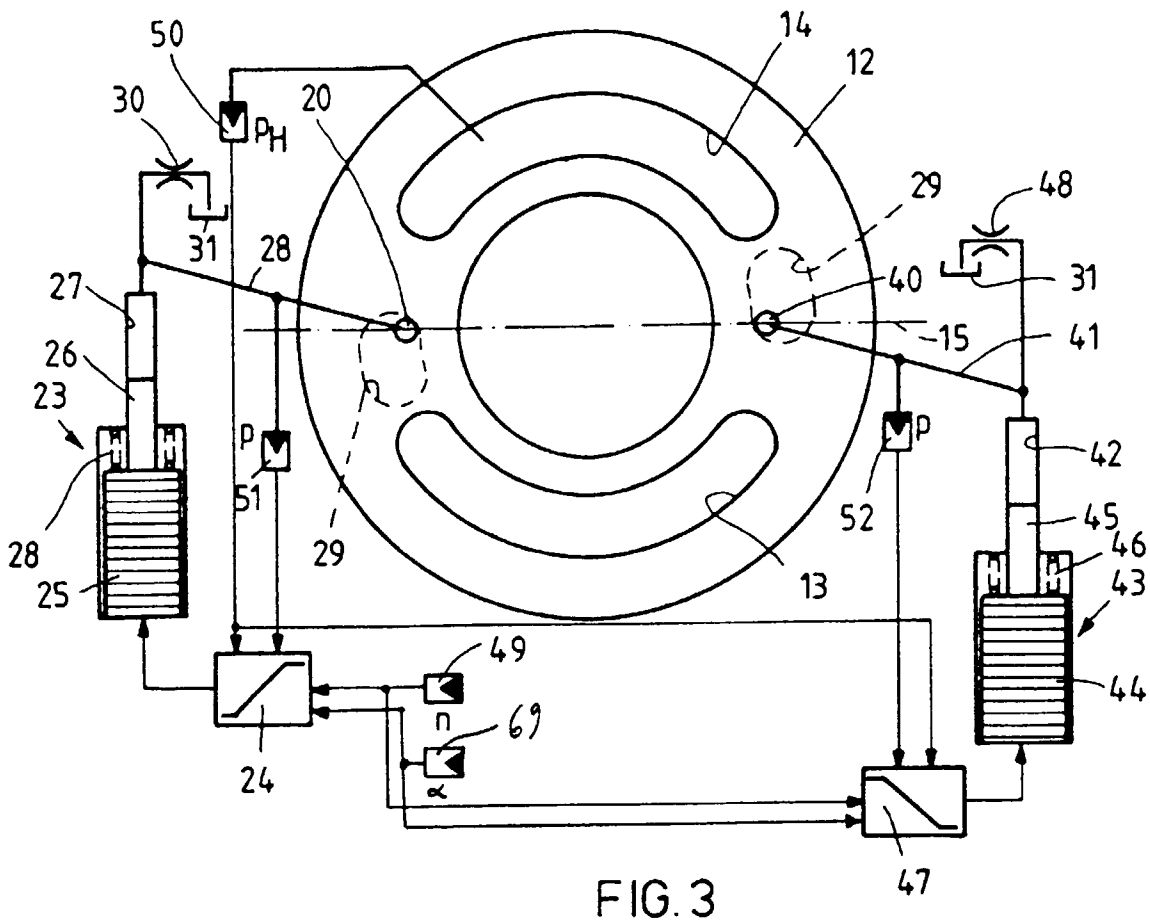


FIG. 3

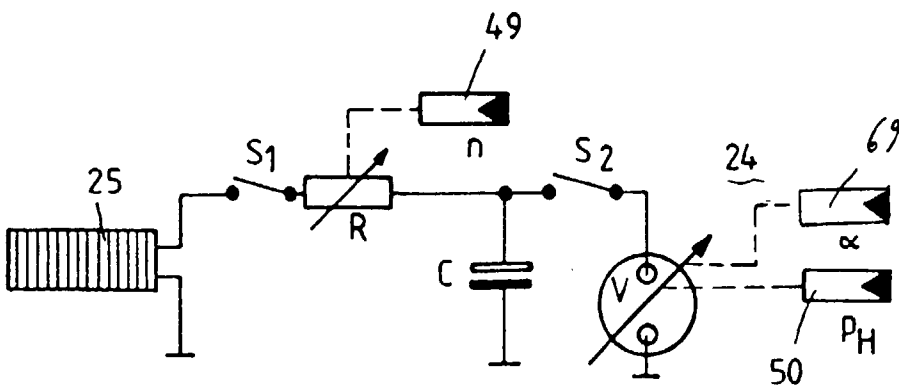


FIG. 4

