

(19)



(11)

EP 2 215 368 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
27.01.2016 Patentblatt 2016/04

(51) Int Cl.:
F15B 9/10 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08848617.0**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2008/009467

(22) Anmeldetag: **10.11.2008**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2009/062649 (22.05.2009 Gazette 2009/21)

(54) **ELEKTROHYDRAULISCHER VERSTÄRKER**

ELECTROHYDRAULIC BOOSTER

AMPLIFICATEUR ÉLECTRO-HYDRAULIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT
RO SE SI SK TR**

(30) Priorität: **15.11.2007 DE 102007054533**
16.11.2007 DE 102007054774

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
11.08.2010 Patentblatt 2010/32

(73) Patentinhaber: **Hoerbiger**
Automatisierungstechnik Holding GmbH
86972 Altenstadt (DE)

(72) Erfinder: **KURZ, Manfred**
86972 Altenstadt (DE)

(74) Vertreter: **Grättinger Möhring von Poschinger**
Patentanwälte Partnerschaft
Wittelsbacherstrasse 2b
82319 Starnberg (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 296 104 DE-A1- 19 757 157
US-A- 4 779 837

EP 2 215 368 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen elektrohydraulischen Verstärker mit einem elektromechanischen Wandler und einer an eine Druckmittelversorgung angeschlossenen, einen Zylinder und einen darin längs der Arbeitsachse verschiebbaren Kolben aufweisenden hydromechanischen Leistungsstufe, wobei der elektromechanische Wandler auf einen der hydromechanischen Leistungsstufe zugeordneten, zumindest teilweise im Inneren des Kolbens angeordneten, in einer Führungsbohrung längs der Arbeitsachse verschiebbar geführten Steuerschieber wirkt, der zwei erste Steuerkanten aufweist, die zur Ausbildung einer hydraulischen Folgeregelung mit korrespondierenden, an der Führungsbohrung vorgesehenen zweiten Steuerkanten zusammenwirken.

[0002] Elektrohydraulische Verstärker der vorstehend angegebenen Art sind in verschiedenen Ausführungen bekannt. Insoweit wird zum Stand der Technik beispielsweise verwiesen auf die EP 0296104 A1 und die DE 19757157 C2. Nach der EP 0296104 A1 ist dabei die hydromechanische Leistungsstufe einstufig ausgeführt, indem der - von dem elektromechanischen Wandler als Eingangsstufe betätigte - Steuerschieber unmittelbar die Beaufschlagung des Kolbens mit Hydraulikflüssigkeit steuert. Bei dem der DE 19757157 C2 entnehmbaren elektrohydraulischen Verstärker ist demgegenüber die hydromechanische Leistungsstufe zweistufig ausgeführt, indem der Steuerschieber als Vorstellerschieber ausgeführt ist und über die Beaufschlagung eines Steuererraums mit Hydraulikflüssigkeit die Verschiebung einer koaxial zum Steuerschieber angeordneten und bewegbaren Steuerhülse steuert, wobei die Steuerhülse ihrerseits - über miteinander zusammenwirkende Paare von dritten und vierten Steuerkanten - die Beaufschlagung des Kolbens mit Hydraulikflüssigkeit steuert. Einsetzen lassen sich derartige elektrohydraulische Verstärker beispielsweise als Antriebe für Maschinen bzw. Aggregate unterschiedlichster Art und verschiedene weitere Anwendungen.

[0003] Die aus dem Stand der Technik bekannten elektrohydraulischen Verstärker genügen nur (noch) eingeschränkt den zunehmend steigenden Anforderungen der Anwender, die insbesondere Wert auf höchste Leistung (z.B. Kräfte von bis zu oder sogar über 30t), Wirtschaftlichkeit und Genauigkeit (Reproduzierbarkeit) legen. Unter den Aspekt der Wirtschaftlichkeit fällt dabei, da dies für die Fertigungsgeschwindigkeit mitunter von ausschlaggebender Bedeutung ist, insbesondere auch der Gesichtspunkt einer hohen Dynamik (z.B. Arbeitsfrequenzen von bis zu oder sogar mehr als 20 Arbeitstakten pro Sekunde).

[0004] Die vorstehend angegebenen Anforderungen stehen teilweise in einem Zielkonflikt. Denn beispielsweise erfordert die Bereitstellung hoher Kräfte eine entsprechend starke Dimensionierung der Komponenten der hydromechanischen Leistungsstufe, was sich - wegen der

damit verbundenen hohen Massen der bewegten Teile - nachteilig auf die erzielbare Dynamik auswirkt.

[0005] Die US-A 4,779,837 offenbart ein Sitzventil mit einem Ventilgehäuse, einem darin verschiebbar geführten, als Hohlkolben ausgeführten Schließkörper und einem in dem zentralen Hohlraum des Schließkörpers verschiebbar geführten Steuerkolben. Letzterer ist in dem Ventilgehäuse wie auch dem Schließkörper geführt und mittels eines Elektromagneten verstellbar, wobei der Schließkörper im Sinne einer Folgeregelung der Verstellung des Steuerkolbens folgt. Die Funktion dieses Ventils erfordert für die Verstellung des Schließkörpers den auf dessen Stirnseite stromaufwärts des Ventilsitzes wirkenden Druck des durch das Ventil zu schaltenden Mediums; eine von der Ventalfunktion unabhängige technische Lehre ist diesem Dokument nicht entnehmbar.

[0006] Gegenüber dem vorstehend dargelegten Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung demgemäß die Aufgabe zugrunde, einen gattungsgemäßen elektrohydraulischen Verstärker bereitzustellen, der in besonderer Weise den bestehenden anwenderseitigen technischen Anforderungen genügt, indem er sich insbesondere durch die Möglichkeit hoher Kräfte bei einer gleichzeitig besonders hohen Dynamik auszeichnet.

[0007] Die vorstehend angegebene Aufgabenstellung wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass bei einem elektrohydraulischen Verstärker der eingangs angegebenen Art die Führungsbohrung zweiteilig mit einem zylinderfesten ersten Abschnitt und einem längs der Arbeitsachse lageveränderbaren zweiten Abschnitt, der die zweiten Steuerkanten aufweist, ausgeführt ist, wobei weiterhin der erste Abschnitt der Führungsbohrung in einer in den Zylinder bzw. das Zylinderbauteil eingesetzten Führungshülse ausgeführt ist. Die Führungshülse kann dabei insbesondere einen mit Hydraulikflüssigkeit gefüllten Raum durchsetzen, d.h. zumindest bereichsweise an ihrer Außenfläche mit Hydraulikflüssigkeit umspült sein.

[0008] Entscheidend für den erfindungsgemäßen elektrohydraulischen Verstärker ist somit zum einen, dass - in Abkehr von den bekannten Bauweisen - statt einer einteiligen Führungsbohrung für den Steuerschieber eine zweiteilige Führungsbohrung vorgesehen ist, wobei die beiden der Führung des Steuerschiebers dienenden Abschnitte der Führungsbohrung längs der Arbeitsachse relativ zueinander bewegbar sind, indem ein erster Abschnitt zylinderfest und ein zweiter Abschnitt, welcher die zweiten Steuerkanten aufweist, in Arbeitsrichtung des Kolbens verschiebbar ist. Verglichen mit einer einteiligen Führungsbohrung lässt sich auf diese Weise die Gesamtlänge der Führungsbohrung substantiell reduzieren. Dies gestattet gleichzeitig eine Verringerung der gesamten Abmessungen der hydromechanischen Leistungsstufe und dementsprechend eine Reduktion der bewegten Massen, so dass auch zur Bereitstellung hoher Kräfte ausgelegte elektrohydraulische Verstärker mit einer in dieser Leistungsgruppe bisher nicht erzielbaren Dynamik betrieben werden können. Weiterhin resultiert die erfindungsgemäße Ausführung

des elektrohydraulischen Verstärkers in nicht unerheblichen fertigungstechnischen Vorteilen; denn mit der erforderlichen Präzision lassen sich die beiden einzelnen Abschnitte der Führungsbohrung leichter herstellen als eine durchgehende lange Führungsbohrung. Und auch im Hinblick auf einen zuverlässigen Betrieb ist der erfindungsgemäße elektrohydraulische Verstärker günstig; denn Probleme, die bei bekannten gattungsgemäßen elektrohydraulischen Verstärkern mit einer durchgehenden langen Führungsbohrung aus Verformungen und/oder Verkantungen der Teile zueinander resultieren können, lassen sich in Anwendung der vorliegenden Erfindung entschärfen. Im Ergebnis ist die Erfindung imstande, einen in diversen Anwendungsgebieten als Antrieb einsetzbaren elektrohydraulischen Verstärker bereitzustellen, der nicht nur in der vorstehend beschriebenen Weise besonders leistungsfähig, sondern auch vergleichsweise robust, einfach und zuverlässig aufgebaut ist und sich für die Umsetzung von definierten Arbeits- bzw. Bewegungsprogrammen mit höchster Präzision eignet.

[0009] Die Ausführung des ersten Abschnitts der Führungsbohrung in einer in den Zylinder bzw. das Zylinderbauteil eingesetzten Führungshülse hat, verglichen mit einer Ausführung des entsprechenden Abschnitts der Führungsbohrung direkt am Zylinderbauteil, nicht nur fertigungstechnische Vorteile. Vielmehr ist diese Gestaltung auch im Hinblick auf die Zuverlässigkeit günstig, namentlich wenn sich die Führungshülse - innerhalb gewisser Grenzen - relativ zu dem Zylinderbauteil bewegen kann, um betriebsbedingte Verformungen und/oder fertigungsbedingte Toleranzen auszugleichen.

[0010] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Rücklauf-Anschluss der hydromechanischen Leistungsstufe im Bereich der Stirnwand des Zylinderbauteils angeordnet ist, wobei der Steuerschieber der hydromechanischen Leistungsstufe von deren Rücklaufstrom durchströmt ist. Die besonderen Vorteile dieser Gestaltung liegen beispielsweise in einer besonders geringen Bauhöhe der hydromechanischen Leistungsstufe und der hierdurch möglichen Minimierung der bewegten Massen.

[0011] Eine andere bevorzugte Weiterbildung des erfindungsgemäßen elektrohydraulischen Verstärkers zeichnet sich dadurch aus, dass der elektromechanische Wandler, d.h. dessen Stator, direkt an der Stirnwand des Zylinderbauteils angebaut ist. Die hierdurch möglichen sehr kurzen Lastwege schlagen sich in einer besonders hohen Präzision des elektrohydraulischen Verstärkers nieder. Oder mit anderen Worten: Durch den unmittelbaren Anbau des Stators des elektromechanischen Wandlers an die Stirnwand des Zylinders der hydromechanischen Leistungsstufe lassen sich Einflüsse, welche sich nachteilig auf die Präzision der Maschine auswirken könnten, weitgehend vermeiden. Zudem ist der solchermaßen weitergebildete elektrohydraulische Verstärker besonders kompakt aufgebaut.

[0012] Besonders bevorzugt kommt dabei als elektro-

mechanischer Wandler ein elektrischer Linear-Direktantrieb mit parallel zur Arbeitsachse, d.h. in z-Richtung verlaufender Motorachse zum Einsatz, dessen Läufer (Lineator bzw. Linearaktor) unmittelbar auf den Steuerschieber wirkt. Das für diese Weiterbildung besonders charakteristische Merkmal besteht somit darin, dass in Kombination miteinander zusammenwirkend, aufeinander abgestimmt eine hydromechanische Leistungsstufe, deren Kolben in einem Zylinder längs der Arbeitsachse verschiebbar ist, und eine Eingangsstufe in Form eines echten elektrischen Linear-Direktantriebs vorgesehen sind, dessen Läufer auf den in einer zweiteiligen Führungsbohrung in z-Richtung verschiebbar geführten Steuerschieber der hydromechanischen Leistungsstufe wirkt. Der Steuerschieber weist zwei erste Steuerkanten auf, welche mit an dem zweiten Abschnitt der Führungsbohrung ausgebildeten zweiten Steuerkanten zusammenwirken, wobei infolge des Zusammenwirkens der ersten und der zweiten Steuerkanten im Sinne einer hydraulischen Folgeregelung eine Verschiebung des Steuerschiebers in z-Richtung im Ergebnis - unmittelbar oder mittelbar (s.u.) - eine Verstellung des Kolbens der hydromechanischen Leistungsstufe um den identischen Weg nach sich zieht. Die Verschiebung des Steuerschiebers mittels des elektrischen Linear-Direktantriebs längs der z-Richtung wird somit 1:1 in eine entsprechende, der Richtung und dem Betrag nach identische Bewegung des Kolbens der hydromechanischen Leistungsstufe umgesetzt. Als Ergebnis hiervon zeichnen sich solche hydromechanischen Verstärker insbesondere durch einen vergleichsweise einfachen und robusten Aufbau und eine hohe Zuverlässigkeit im Betrieb aus. Zugleich können sie außerordentlich kompakt sein und besonders präzise arbeiten; denn insbesondere ist keinerlei (mechanische oder sonstige) die Stellung des Kolbens betreffende Signalarückführung, die sich sowohl im Hinblick auf die Dynamik des möglichen Bewegungsprogramms als auch im Hinblick auf dessen Präzision nachteilig auswirken kann, erforderlich. Vielmehr wird das - ggfs. in einer auf den elektromechanischen Wandler wirkenden numerischen Steuerung hinterlegte - Bewegungsprogramm unmittelbar, das heißt ohne eine Signalarückführung im Sinne eines Regelkreises, in eine Bewegung des Steuerschiebers und eine dieser 1:1 folgende Bewegung des Kolbens der hydromechanischen Leistungsstufe umgesetzt.

[0013] Im Sinne der weiter oben dargelegten Weiterbildung kann der Stator des elektrischen Linear-Direktantriebs dabei fest mit einer Stirnwand des Zylinders der hydromechanischen Leistungsstufe verbunden sein. Dies gilt namentlich dann, wenn, gemäß einer abermals bevorzugten Weiterbildung der Erfindung, der Läufer des elektrischen Linear-Direktantriebs über eine die Stirnwand des Zylinders durchdringende Koppelstange fest mit dem Steuerschieber verbunden ist.

[0014] Die vorstehend beschriebene Koppelstange, welche den Läufer des elektrischen Linear-Direktantriebs mit dem Steuerschieber fest verbindet, durchsetzt

dabei besonders bevorzugt einen im wesentlichen mit dem Rücklaufdruck beaufschlagten Niederdruckraum des Zylinders der hydromechanischen Leistungsstufe. Auf diese Weise werden an die Abdichtung der Koppelstange gegenüber dem Zylinder nur vergleichsweise geringe Anforderungen gestellt. Dementsprechend wirken im Bereich der Abdichtung keine nennenswerten Reibungskräfte auf die Koppelstange, was sich sowohl im Hinblick auf die Dynamik des elektrohydraulischen Verstärkers als auch im Hinblick auf dessen Präzision (Reproduzierbarkeit der Kolbenbewegung) günstig auswirkt.

[0015] Bei einer insoweit besonders bevorzugten Weiterbildung der Erfindung ist im Bereich der Durchführung der Koppelstange durch die Stirnwand des Zylinders überhaupt keine Abdichtung vorgesehen. Vielmehr ist hier der Läufer des elektrischen Linear-Direktantriebs in einer mit dem Zylinderbauteil der hydromechanischen Leistungsstufe dichtend verbundenen, den Stator des elektrischen Linear-Direktantriebs durchsetzenden Büchse aufgenommen, deren Innenraum an einen Hydraulikflüssigkeit enthaltenden Niederdruckraum der hydromechanischen Leistungsstufe angeschlossen ist. Dabei entsteht ein - gegebenenfalls durch die oszillierende Bewegung der Koppelstange unterstützter - Austausch der Hydraulikflüssigkeit zwischen dem Niederdruckraum der hydromechanischen Leistungsstufe und der genannten, den Läufer des elektrischen Linear-Direktantriebs umgebenden Büchse, wodurch sich eine wirksame Kühlung des elektrischen Linear-Direktantriebs durch die ständig erneuerte Hydraulikflüssigkeit bewirken lässt. Letzteres gilt insbesondere dann, wenn die genannte Büchse wärmeleitend in dem Stator des elektrischen Linear-Direktantriebs aufgenommen ist. Indem sich auf diese Weise Temperaturschwankungen bei dem elektrischen Linear-Direktantrieb auf ein Minimum reduzieren lassen, wird wiederum die Reproduzierbarkeit und somit die Präzision des elektrohydraulischen Verstärkers. Gleichzeitig lassen sich vergleichsweise kompakte Komponenten einsetzen, was nicht nur im Hinblick auf den benötigten Bauraum günstig ist, sondern vielmehr auch im Hinblick auf die Dynamik des elektrohydraulischen Verstärkers, weil sich die bewegten Massen minimieren lassen. Ein ähnlicher Effekt lässt sich erreichen, wenn - statt (nur) den Läufer des elektrischen Linear-Direktantriebs in der vorstehend erläuterten Weise in einer mit Hydraulikflüssigkeit gefüllten Büchse aufzunehmen - der elektrische Linear-Direktantrieb insgesamt in einem mit dem Zylinderbauteil der hydromechanischen Leistungsstufe dichtend verbundenen Gehäuse eingehaust ist, dessen Innenraum an einen Hydraulikflüssigkeit enthaltenden Niederdruckraum der hydromechanischen Leistungsstufe angeschlossen ist.

[0016] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kommen durchaus unterschiedliche Ausgestaltungen der hydromechanischen Leistungsstufe in Betracht. Insbesondere kann die hydromechanische Leistungsstufe einstufig oder aber auch zweistufig ausgeführt sein. Bei einer einstufigen Ausführung der hydromechanischen Leis-

tungsstufe sind die zweiten Steuerkanten kolbenfest angeordnet. Auf diese Weise folgt der Kolben der hydromechanischen Leistungsstufe unmittelbar der Bewegung des Steuerschiebers.

[0017] Ist die hydromechanische Leistungsstufe demgegenüber zweistufig ausgeführt, so stellt der - von dem elektromechanischen Wandler betätigte - Steuerschieber einen Vorsteuerschieber dar, und die zweiten Steuerkanten sind an einer in dem Kolben längs der Arbeitsachse verschiebbar geführten Steuerhülse ausgeführt, die ihrerseits zwei dritte Steuerkanten aufweist, welche zur Ausbildung einer hydraulischen Folgeregelung mit zwei korrespondierenden vierten Steuerkanten des Kolbens zusammenwirken. Bei dieser Ausgestaltung folgt der Kolben der hydromechanischen Leistungsstufe der Bewegung des Steuerschiebers nur mittelbar, indem die Steuerhülse der Bewegung des Steuerschiebers folgt und der Kolben der Bewegung der Steuerhülse. Die miteinander zusammenwirkenden ersten und zweiten Steuerkanten steuern auf diese Weise nur einen vergleichsweise geringen Durchfluss an Hydraulikflüssigkeit, nämlich jenen Volumenstrom, der für die Verstellung der Steuerhülse erforderlich ist. Der zur Verstellung des Kolbens der hydromechanischen Leistungsstufe dienende Volumenstrom wird demgegenüber durch die miteinander zusammenwirkenden dritten und vierten Steuerkanten gesteuert.

[0018] Bei einer zweistufigen Ausführung der hydromechanischen Leistungsstufe sind bevorzugt zwei Anschläge vorgesehen, welche die Bewegung der Steuerhülse relativ zum Kolben in Richtung der Arbeitsachse auf einen bestimmten Anteil des maximalen Arbeitshubes des Kolbens begrenzen. Solche Anschläge sind insoweit besonders vorteilhaft, als sie (bei einem vorgegeben maximalen Hub des Kolbens) eine kürzere Baulänge der hydromechanischen Leistungsstufe ermöglichen, verglichen mit einer Ausführungsform ohne derartige Anschläge. Im Hinblick auf diese Funktion kann beispielsweise der gesamte Bewegungsbereich der Steuerhülse relativ zum Kolben auf einen Anteil von 5% bis 25%, besonders bevorzugt 10% bis 15% des vorgegebenen maximalen Hubes des Kolbens begrenzt werden, so dass beispielsweise bei einem auf 40mm ausgelegten maximalen Kolbenhub die Steuerhülse aus einer Nullstellung, in welcher die dritten und vierten Steuerkanten idealerweise zueinander fluchten, heraus in beiden Richtungen um jeweils 2,5mm (6,25% des Kolbenhubes) relativ zum Kolben bewegt werden kann. Im Bedarfsfalle kann auch eine asymmetrische Begrenzung der Bewegungsmöglichkeit der Steuerhülse relativ zum Kolben mittels der genannten Anschläge vorgesehen sein.

[0019] Im Folgenden wird die vorliegende Erfindung anhand von vier in der Zeichnung veranschaulichten bevorzugten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Dabei zeigen

Fig. 1 einen schematischen Schnitt durch einen gemäß einer ersten Ausführungsform ausge-

- führten elektrohydraulischen Verstärker,
 Fig. 1a ein Detail-Ausschnitt der Fig. 1,
 Fig. 2 das in Fig. 1 schematisch illustrierte Ausführungsbeispiel eines elektrohydraulischen Verstärkers mit weiteren konstruktiven Details,
 Fig. 3 einen Schnitt durch einen gemäß einer zweiten Ausführungsform ausgeführten elektrohydraulischen Verstärker,
 Fig. 4 einen Schnitt durch einen gemäß einer dritten Ausführungsform ausgeführten, eine zweistufige hydromechanische Leistungsstufe aufweisenden elektrohydraulischen Verstärker,
 Fig. 4a und
 Fig. 4b Detail-Ausschnitte der Fig. 4 und
 Fig. 5 einen Schnitt durch einen gemäß einer vierten Ausführungsform ausgeführten, eine zweistufige hydromechanische Leistungsstufe aufweisenden elektrohydraulischen Verstärker.

[0020] Um ein (in die Aufnahme 0 eingesetztes) Element 1 gemäß einem in einer numerischen Steuerung 3 hinterlegten Bewegungsprogramm längs der in z-Richtung 4 verlaufenden Arbeitsachse 5 auf und ab zu bewegen, ist ein elektrohydraulischer Verstärker 6 vorgesehen, auf den die numerische Steuerung 3 wirkt. Der elektrohydraulische Verstärker umfasst als Hauptkomponenten eine Eingangsstufe in Form eines elektromechanischen Wandlers 2, der als elektrischer Linear-Direktantrieb 7 ausgeführt ist, und eine hydromechanische Leistungsstufe 10, welche einen (zweistufigen) Zylinder 8 und einen darin längs der Arbeitsachse 5 verschiebbar geführten Kolben 9 aufweist. Der elektrische Linear-Direktantrieb 7, dessen Motorachse 11 in z-Richtung verläuft, ist dergestalt direkt von der numerischen Steuerung 3 angesteuert, dass sein Läufer 12 entsprechend der jeweiligen Ansteuerung durch die numerische Steuerung 3 eine definierte Stellung in z-Richtung einnimmt.

[0021] Die - zwischen den Läufer 12 des elektrischen Linear-Direktantriebs 7 und das Element 1 geschaltete - hydromechanische Leistungsstufe 10 ist an eine Druckmittelversorgung 13 angeschlossen, welche in als solches bekannter Weise einen Motor 14, eine durch diesen angetriebene, Hydraulikflüssigkeit aus dem Tank 15 ansaugende Pumpe 16, ein Rückschlagventil 17 und einen Druckspeicher 18 umfasst. Zwischen dem Zylinder 8 und dem Kolben 9 der hydromechanischen Leistungsstufe 10 sind zwei Arbeitsräume definiert, nämlich ein ringförmiger erster Arbeitsraum 19 und ein - ebenfalls ringförmiger - zweiter Arbeitsraum 20. Der Kolben ist dabei in dem Sinne als Differentialkolben ausgeführt, als die in z-Richtung ermittelte, den ersten Arbeitsraum 19 begrenzende Gesamt-Stirnfläche 21 des Kolbens 9 wesentlich geringer ist als die - ebenfalls in z-Richtung ermittelte - den zweiten Arbeitsraum 20 begrenzende Gesamt-Stirnfläche 22 des Kolbens 9.

[0022] In dem ersten Arbeitsraum 19 herrscht ständig der Betriebsdruck der Druckmittelversorgung 13. Demgegenüber ist der zweite Arbeitsraum 20, um eine Be-

wegung des Kolbens 9 längs der z-Richtung zu bewirken, wie nachfolgend im Detail beschrieben gesteuert entweder strömungstechnisch an die Druckmittelversorgung 13 anschließbar, so dass in ihm der Betriebsdruck der Druckmittelversorgung herrscht und der Kolben 9 mitsamt dem Element 1 nach unten bewegt wird, oder aber strömungstechnisch an den Tank 15 anschließbar, wodurch in ihm der Rücklaufdruck herrscht und der Kolben 9 mitsamt dem Element 1 nach oben bewegt wird. Zu diesem Zweck ist ein Steuerschieber 23 vorgesehen, der im Inneren des Kolbens 9 der hydromechanischen Leistungsstufe 10 angeordnet und längs der Arbeitsachse 5, d.h. in z-Richtung verschiebbar ist. Der Steuerschieber 23 ist dabei in einer Führungsbohrung geführt, und zwar mit einem oberen Bund 24 in einem oberen, ersten Abschnitt 25 der Führungsbohrung und mit einem unteren Bund 26 in einem unteren, zweiten Abschnitt 27 der Führungsbohrung. Der erste Abschnitt 25 der Führungsbohrung ist dabei zylinderfest ausgeführt, indem er durch die Innenfläche 28 einer in den Zylinder 8 eingesetzten Führungshülse 29 gebildet ist. Der zweite Abschnitt 27 der Führungsbohrung ist demgegenüber kolbenfest ausgeführt, indem er durch die untere Innenfläche 30 einer in dem Kolben 9 angeordneten stufenförmigen Sackbohrung 31 gebildet ist. Im Ergebnis liegt auf diese Weise eine zweiteilige Führungsbohrung für den Steuerschieber 23 vor. Die Außenfläche 32 der Führungshülse 29 liegt demgegenüber dichtend in der oberen Innenfläche 33 der stufenförmigen Sackbohrung 31 des Kolbens 9 an.

[0023] Durch den oberen Bund 24 und den unteren Bund 26 des Steuerschiebers 23, dessen zwischen dem oberen und dem unteren Bund liegende Außenfläche 34, die zwischen dem oberen und dem unteren Bund liegenden Abschnitte der Innenfläche 28 der Führungshülse 29 und der oberen Innenfläche 33 und der unteren Innenfläche 30 der Sackbohrung 31 sowie die Stirnfläche 53 der Führungshülse 29 und den Absatz 35 der Sackbohrung 31 ist ein Hochdruckraum 36 definiert. Dieser ist über eine Mehrzahl von Radialbohrungen 37, von denen aus Gründen der Übersichtlichkeit nur eine dargestellt ist, ständig mit dem ersten Arbeitsraum 19 verbunden, so dass in ihm ständig der Betriebsdruck der Druckmittelversorgung 13 herrscht. Im Hinblick auf die weiter unten erläuterte Funktionsweise ist die Projektion in z-Richtung der durch den Absatz 35 definierten Fläche des Hochdruckraumes 36 dabei wesentlich kleiner als die Projektion in z-Richtung der den ersten Arbeitsraum 19 begrenzenden Stirnfläche 21 des Kolbens 9.

[0024] An dem unteren Bund 26 des Steuerschiebers sind zwei erste Steuerkanten 38, nämlich eine obere erste Steuerkante 38a und eine untere erste Steuerkante 38b ausgebildet. Diese wirken mit zu ihnen korrespondierenden zweiten Steuerkanten 39, nämlich einer oberen zweiten Steuerkante 39a und einer unteren zweiten Steuerkante 39b, zusammen, welche an einer im Bereich der unteren Innenfläche 30 der Sackbohrung 31 in dem Kolben angeordneten Ringnut 40 ausgeführt sind. Die

Ringnut 40 steht über eine Mehrzahl von Axialbohrungen 41, von denen aus Gründen der Übersichtlichkeit nur eine dargestellt ist, ständig mit dem zweiten Arbeitsraum 20 in Verbindung.

[0025] Ein insbesondere durch den oberen Bund 24 des Steuerschiebers 23 und den oberhalb des oberen Bundes 24 des Steuerschiebers liegenden Bereich der Innenfläche 28 der Führungshülse 29 begrenzter Hohlraum 42 der hydromechanischen Leistungsstufe 10 steht über eine Radialbohrung 43 mit einem im Bereich der Stirnwand 44 des Zylinders 8 angeordneten, mit dem Tank 15 verbundenen Rücklauf-Anschluss 45 für die Hydraulikflüssigkeit in Verbindung. Er stellt somit einen oberen Niederdruckraum 46 dar, in dem im Wesentlichen der Rücklaufdruck herrscht. Der Steuerschieber 23 ist in Längsrichtung durchbohrt; die entsprechende Längsbohrung 47, die über Durchbrüche 54 an den oberen Niederdruckraum 46 angeschlossen ist, mündet am unteren Ende des Steuerschiebers 23 in einen unteren Niederdruckraum 48, welcher insbesondere durch den unteren Bund 26 des Steuerschiebers 23, den unterhalb des unteren Bundes des Steuerschiebers liegenden Bereich der unteren Innenfläche 30 der Sackbohrung 31 und die Stirnfläche 49 der Sackbohrung 31 begrenzt ist. Auch im unteren Niederdruckraum 48 herrscht somit im Wesentlichen der Rücklaufdruck.

[0026] Der Stator 52 des elektrischen Linear-Direktantriebs 7 ist fest mit der Stirnwand 44 des Zylinders 8 der hydromechanischen Leistungsstufe 10 verbunden. Der elektrische Linear-Direktantrieb 7 ist weiterhin von einem an den Zylinder 8 dichtend angeschlossenen Gehäuse 49 umgeben. Der Läufer 12 des elektrischen Linear-Direktantriebs 7 ist über eine Koppelstange 50, welche die Stirnwand 44 des Zylinders 8 und den oberen Niederdruckraum 46 durchsetzt, fest mit dem Steuerschieber verbunden. Die in der Stirnwand 44 des Zylinders 8 vorgesehene Bohrung 51, durch welche hindurch die Koppelstange 50 aus dem Zylinder heraustritt, ist so bemessen, dass ein Austausch von Hydraulikflüssigkeit zwischen dem oberen Niederdruckraum 46 und dem Inneren des Gehäuses 49 möglich ist.

[0027] Wird der elektrische Linear-Direktantrieb von der Steuerung 3 so angesteuert, dass der Läufer 12 um ein in dem hinterlegten Bewegungsprogramm bestimmtes Maß nach unten bewegt wird, so wird diese Bewegung über die Koppelstange 50 identisch auf den Steuerschieber 23 übertragen. Hierdurch entsteht zwischen der oberen ersten Steuerkante 38a und der oberen zweiten Steuerkante 39a ein Ringspalt, durch welchen die Ringnut 40 mit dem Hochdruckraum 36 verbunden wird. Dementsprechend strömt Hydraulikflüssigkeit von dem Hochdruckraum über die Ringnut 40 und die Axialbohrungen 41 in den zweiten Arbeitsraum 20, wodurch der Kolben 8 abwärts bewegt wird. Die Bewegung des Kolbens 8 stimmt dabei identisch mit jenem Maß überein, um das der Steuerschieber 23 verschoben wurde; denn die Abwärtsbewegung des Kolbens endet, wenn die obere erste Steuerkante 38a und die obere zweite Steuer-

kante 39a wieder zueinander fluchten und den vorstehend beschriebenen Ringspalt wieder verschließen.

[0028] Umgekehrt gilt: Wird der elektrische Linear-Direktantrieb von der Steuerung 3 so angesteuert, dass der Läufer 12 um ein in dem hinterlegten Bewegungsprogramm bestimmtes Maß nach oben bewegt wird, so wird diese Bewegung über die Koppelstange 50 identisch auf den Steuerschieber 23 übertragen. Hierdurch entsteht zwischen der unteren ersten Steuerkante 38b und der unteren zweiten Steuerkante 39b ein Ringspalt, durch welchen die Ringnut 40 mit dem unteren Niederdruckraum 48 verbunden wird. Dementsprechend erfolgt über die Axialbohrungen 41, die Ringnut 40, den unteren Niederdruckraum 48, die Längsbohrung 47 des Steuerschiebers 23, den oberen Niederdruckraum 46 und die Radialbohrung 43 ein Druckausgleich zwischen dem zweiten Arbeitsraum 20 und dem Rücklauf-Anschluss 45, so dass im zweiten Arbeitsraum 20 der Rücklaufdruck herrscht. Der Kolben 8 wird infolge des im ersten Arbeitsraum 19 herrschenden Betriebsdrucks der Druckmittelversorgung 13 nach oben verschoben. Die Bewegung des Kolbens 8 stimmt dabei identisch mit jenem Maß überein, um das der Steuerschieber 23 nach oben verschoben wurde; denn die Aufwärtsbewegung des Kolbens endet, wenn die untere erste Steuerkante 38b und die untere zweite Steuerkante 39b wieder zueinander fluchten und den vorstehend beschriebenen Ringspalt wieder verschließen. Die bei der entsprechenden Aufwärtsbewegung des Kolbens 8 aus dem zweiten Arbeitsraum 20 verdrängte Hydraulikflüssigkeit fließt durch die Axialbohrungen 41, die Ringnut 40, den unteren Niederdruckraum 48, die Längsbohrung 47 des Steuerschiebers 23, den oberen Niederdruckraum 46 und die Radialbohrung 43 in den Tank 15 zurück. Zugleich strömt aus der Druckmittelversorgung 13 Hydraulikflüssigkeit in den ersten Arbeitsraum 19 nach.

[0029] Für die in Fig. 2 veranschaulichte Ausführungsform gelten die Erläuterungen der Fig. 1 in entsprechender Weise. Daher wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf die vorstehenden Ausführungen verwiesen. Hervorzuheben sind insoweit lediglich drei Abwandlungen. Zum einen ist in Fig. 2 gezeigt, dass die Führungshülse 29 an ihrer Außenfläche nicht durchgehend zylindrisch ausgeführt ist, sondern vielmehr einen oberen Bund 55, einen unteren Bund 56 und dazwischen einen Bereich 57 mit einem reduzierten Außendurchmesser aufweist; hiermit sind sowohl fertigungstechnische als auch betriebstechnische Vorteile verbunden, die insbesondere aus reduzierten Anforderungen an die Fertigungstoleranz resultieren. Weiterhin ist der untere Abschnitt 27 der Führungsbohrung nicht direkt im Kolben 9 ausgeführt, sondern vielmehr in einer fest in den Kolben 9 eingepressten Kolbenhülse 58. Dementsprechend sind die zweiten Steuerkanten 39 bei dieser Ausführungsform nicht durch Kanten der Ringnut 40 gebildet; vielmehr weist die Hülse 58 radiale Durchbrüche 59 auf, wobei die oberen zweiten Steuerkanten 39a und die unteren zweiten Steuerkanten 39b durch entsprechende Kanten der

Durchbrüche 59 gebildet sind. Auch hiermit sind wiederum fertigungstechnische Vorteile verbunden. Schließlich weist die Ausführungsform nach Fig. 2 im Bereich der Durchführung der Koppelstange 50 durch die Stirnwand 44 des Zylinders 8 einen gesonderten Einsatz E auf, der an die spezifischen Anforderungen betreffend eine mögliche Abdichtung und/oder Führung der Koppelstange 50 angepasst sein kann.

[0030] Die Ausführungsform nach Fig. 3 entspricht wiederum im Wesentlichen der Ausführungsform nach Fig. 2. Insoweit wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf die vorstehenden Ausführungen verwiesen. Hervorzuheben ist im Hinblick auf Fig. 3 lediglich eine einzige nennenswerte Abwandlung. Und zwar ist hier der Rücklauf-Anschluss 60 nicht im Bereich der Stirnwand 44 des Zylinders 8 angeordnet, sondern vielmehr im Bereich des unteren Endes des Zylinders 8. Dementsprechend ist der untere Niederdruckraum 48 hier über in dem Kolben 9 angeordnete Radialbohrungen 61, welche - bei jeder Stellung des Kolbens 9 relativ zu dem Zylinder 8 - strömungstechnisch mit einer in dem Zylinder angeordneten Ringnut 62 verbunden sind, mit dem in die Ringnut 62 mündenden Rücklauf-Anschluss 60 verbunden. Bei dieser Ausführungsform ist der Steuerschieber 23 nicht von dem bei der Aufwärtsbewegung des Kolbens 9 entstehenden Rücklaufstrom der Hydraulikflüssigkeit durchströmt. Vielmehr hat hier die den Steuerschieber durchsetzende Längsbohrung 63 allein die Aufgabe, für einen Druckausgleich zwischen dem unteren Niederdruckraum 48 und dem oberen Niederdruckraum 46 zu sorgen. Eine (Ausgleichs-)Strömung innerhalb der Längsbohrung 63 stellt sich nur entsprechend und während der Verschiebung des Steuerschiebers 23 in der Führungsbohrung ein.

[0031] Weiterhin unterscheidet sich die Ausführungsform nach Fig. 3 von denjenigen nach den Fig. 1 und 2 insbesondere auch dadurch, dass nicht der elektrische Linear-Direktantrieb insgesamt in einem mit dem Zylinderbauteil der hydromechanischen Leistungsstufe dichtend verbundenen Gehäuse eingehaust ist, dessen Innenraum an einen Hydraulikflüssigkeit enthaltenden Niederdruckraum der hydromechanischen Leistungsstufe angeschlossen ist, sondern dass hier vielmehr (nur) den Läufer 12 des elektrischen Linear-Direktantriebs 7 in einer Büchse B aufgenommen ist, welche mit der Stirnwand 44 des Zylinderbauteils der hydromechanischen Leistungsstufe dichtend verbunden ist und den Stator 52 des elektrischen Linear-Direktantriebs durchsetzt. Zwischen dem Innenraum der Büchse B und dem oberen Niederdruckraum 46 der hydromechanischen Verstärkerstufe findet ein ständiger Austausch der Hydraulikflüssigkeit statt. Im oberen Bereich der Büchse B ist ein balgförmiges Ausgleichsglied angedeutet, welches sich entsprechend der Bewegung des Läufers 12 verformen kann, so dass die Dynamik der Bewegung des Läufers durch die in der Büchse vorhandene Hydraulikflüssigkeit nicht beeinträchtigt wird.

[0032] Was die in der Fig. 4 dargestellte Ausführungs-

form betrifft, so unterscheidet sich diese von der Ausführungsform nach Fig. 3 insbesondere dadurch, dass hier eine zweistufige hydromechanische Leistungsstufe 110 vorgesehen ist. Im einzelnen stellt sich diese Ausführungsform, soweit ihre Komponenten und ihre Funktion sich nicht ohne weiteres aus den in entsprechender Weise geltenden Erläuterungen zu den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen erschließen, zu welchem Zweck funktionsgleiche Teile mit einem gegenüber den Fig. 1 bis 3 um 100 erhöhten Bezugszeichen gekennzeichnet wurden, wie folgt dar:

Die zwischen den Läufer 112 des elektrischen Linear-Direktantriebs 107 und das Element 101 geschaltete, an eine Druckmittelversorgung 113 angeschlossene hydromechanische Leistungsstufe 110 umfasst einen Zylinder 108 und einen Kolben 109 mit der Werkzeugaufnahme 100. Zwischen dem Zylinder 108 und dem Kolben 109 sind zwei Arbeitsräume definiert, nämlich ein ringförmiger erster Arbeitsraum 119 und ein - ebenfalls ringförmiger - zweiter Arbeitsraum 120. In dem ersten Arbeitsraum 119 herrscht ständig der Betriebsdruck der Druckmittelversorgung 113. Demgegenüber ist der zweite Arbeitsraum 120, um eine Bewegung des Kolbens 109 längs der z-Richtung zu bewirken, wie nachfolgend im Detail beschrieben gesteuert entweder strömungstechnisch an die Druckmittelversorgung 113 anschließbar, so dass in ihm der Betriebsdruck der Druckmittelversorgung herrscht und der Kolben 109 mitsamt dem Element 101 nach unten bewegt wird, oder aber strömungstechnisch an den Tank 115 anschließbar, wodurch in ihm der Rücklaufdruck herrscht und der Kolben 109 mitsamt dem Element 101 nach oben bewegt wird. Zu diesem Zweck ist ein als Vorsteuerschieber ausgeführter Steuerschieber 123 vorgesehen, der längs der Arbeitsachse 105, d.h. in z-Richtung verschiebbar ist. Der Steuerschieber 123 ist dabei in einer Führungsbohrung geführt, und zwar mit einem oberen Bund 124 in einem oberen, ersten Abschnitt 125 der Führungsbohrung und mit einem unteren Bund 126 in einem unteren, zweiten Abschnitt 127 der Führungsbohrung. Der erste Abschnitt 125 der Führungsbohrung ist dabei zylinderfest ausgeführt, indem er durch die Innenfläche 128 einer in den Zylinder 108 eingesetzten Führungshülse 129 gebildet ist. Der zweite Abschnitt 127 der Führungsbohrung ist demgegenüber in z-Richtung verschiebbar ausgeführt, indem er durch die obere Innenfläche 170 einer Steuerhülse 171 gebildet ist, die ihrerseits längs der z-Richtung verschiebbar in einer in den Kolben 109 fest eingepressten Kolbenhülse 172 geführt ist. Im Ergebnis liegt auf diese Weise eine zweiteilige Führungsbohrung für den Steuerschieber 123 vor.

[0033] Im Bereich des unteren Endes der Führungshülse 129 ist ein Wulst 173 ausgebildet, an welchem ei-

nerseits eine weitgehende Abdichtung der Führungshülse 129 gegenüber dem oberen Bereich der Außenfläche 187o der Steuerhülse 171 und andererseits eine weitgehende Abdichtung der Führungshülse 129 gegenüber der Innenfläche 175 der Kolbenhülse 172 erfolgt.

[0034] Durch den oberen Bund 124 und den unteren Bund 126 des Steuerschiebers 123, dessen zwischen dem oberen und dem unteren Bund liegende Außenfläche 134, die zwischen dem oberen und dem unteren Bund liegenden Abschnitte der Innenfläche 128 der Führungshülse 129 und der oberen Innenfläche 170 der Steuerhülse 171 ist ein innerer oberer Hochdruckraum 176 definiert. Dieser ist über eine Bohrung 177 ständig mit dem Druckmittelanschluss 178 verbunden, so dass in ihm ständig der Betriebsdruck der Druckmittelversorgung 113 herrscht. Weiterhin herrscht der Betriebsdruck der Druckmittelversorgung 113 ständig in einem inneren unteren Hochdruckraum 179, der durch die untere Innenfläche 180 der Steuerhülse 171, einen oberen Stopfen 181, die untere Innenfläche 182 der Kolbenhülse 172, einen unteren Stopfen 183 und die Stirnfläche 184 der Steuerhülse 171 begrenzt ist. Hierzu ist der innere untere Hochdruckraum 179 über die Steuerhülse 171 durchsetzende Radialbohrungen 185 an einen ringförmigen äußeren Hochdruckraum 186 angeschlossen, der zwischen der Innenfläche 175 der Kolbenhülse 172 und dem zwischen einem oberen Bund 188 und einem mittleren Bund 189 der Steuerhülse 171 liegenden mittleren Bereich der Außenfläche 187m der Steuerhülse 171 ausgebildet ist und - bei jeder Stellung der Steuerhülse 171 relativ zur Kolbenhülse 172 - über die Kolbenhülse 172 und den Kolben 109 durchsetzende Radialbohrungen 190 an den ersten Arbeitsraum 119 angeschlossen ist.

[0035] Oberhalb des oberen Stopfens 181 besteht innerhalb der Steuerhülse 171 ein innerer Niederdruckraum 191, der über die den Steuerschieber 123 durchsetzende Längsbohrung 147 an den oberen Niederdruckraum 146 angeschlossen ist, welcher seinerseits über eine Bohrung 192 mit dem Rücklauf-Anschluss 145 in Verbindung steht. Auf diese Weise herrscht im inneren Niederdruckraum 191 im Wesentlichen der Rücklaufdruck.

[0036] Ebenfalls der Rücklaufdruck herrscht in dem ringförmigen unteren Niederdruckraum 148, der durch die Innenfläche 175 der Kolbenhülse 172, den mittleren Bund 189 und den unteren Bund 193 der Steuerhülse 171 sowie den zwischen dem mittleren Bund 189 und dem unteren Bund 193 liegenden unteren Bereich der Außenfläche 187u der Steuerhülse 171 begrenzt ist und über die Kolbenhülse 172 und den Kolben 109 durchsetzende Radialbohrungen 194 und eine Ringnut 195 an den Rücklauf-Anschluss 145 angeschlossen ist.

[0037] Schließlich ist ein Steuerraum 196 vorgesehen, welcher durch die Innenfläche 175 der Kolbenhülse 172, den oberen Bund 188 der Steuerhülse 171, den oberhalb des oberen Bundes 188 liegenden oberen Bereich der Außenfläche 187o der Steuerhülse 171 und den Wulst 173 begrenzt ist und in welchen die Steuerhülse 171 radial durchsetzende innere Steuerdurchbrüche 197 münden.

dial durchsetzende innere Steuerdurchbrüche 197 münden.

[0038] An dem unteren Bund 126 des Steuerschiebers 123 sind zwei erste Steuerkanten 138, nämlich eine obere erste Steuerkante 138a und eine untere erste Steuerkante 138b ausgebildet. Diese wirken mit zu ihnen korrespondierenden zweiten Steuerkanten 139, nämlich oberen zweiten Steuerkanten 139a und unteren zweiten Steuerkanten 139b, zusammen, welche an den inneren Steuerdurchbrüchen 197 der Steuerhülse 171 ausgeführt sind.

[0039] An dem mittleren Bund 189 der Steuerhülse sind dritte Steuerkanten 198 ausgeführt, nämlich eine obere dritte Steuerkante 198a und eine untere dritte Steuerkante 198b. Diese wirken mit korrespondierenden vierten Steuerkanten 199, nämlich oberen vierten Steuerkanten 199a und unteren vierten Steuerkanten 199b, zusammen, die an äußeren Steuerdurchbrüchen 200 ausgebildet sind, welche die Kolbenhülse 172 durchsetzen und mit einer in dem Kolben 109 angeordneten Ringnut 140 kommunizieren, die ihrerseits über mehrere Axialbohrungen 141, von denen der Übersichtlichkeit wegen nur eine dargestellt ist, mit dem zweiten Arbeitsraum 120 in Verbindung steht.

[0040] Wird der elektrische Linear-Direktantrieb 107 von der Steuerung 103 so angesteuert, dass der Läufer 112 um ein in dem hinterlegten Bewegungsprogramm bestimmtes Maß nach unten bewegt wird, so wird diese Bewegung über die Koppelstange 150 identisch auf den Steuerschieber 123 übertragen. Hierdurch entstehen zwischen der oberen ersten Steuerkante 138a und den oberen zweiten Steuerkanten 139a Öffnungen, durch welche der Steuerraum 196 mit dem oberen Hochdruckraum 176 verbunden wird. Dementsprechend strömt Hydraulikflüssigkeit von dem oberen Hochdruckraum 176 durch die inneren Steuerdurchbrüche 197 hindurch in den Steuerraum 196 und ruft auf diese Weise eine nach unten gerichtete Bewegung der Steuerhülse 171 hervor. Im Hinblick auf diese Funktion ist bedenken, dass im Sinne der auf die Steuerhülse wirkenden hydraulischen Kräfte die Projektion in z-Richtung der den unteren Hochdruckraum 179 begrenzenden Stirnfläche 184 der Steuerhülse 171 und des oberen Stopfens 181 entgegenwirkt der Projektion in z-Richtung der den oberen Hochdruckraum 176 begrenzenden Stirnfläche der Steuerhülse 171 sowie der den Steuerraum begrenzenden Ringfläche des oberen Bundes 188. Wesentlich für die Funktion ist somit, dass die Summe der an zweiter Stelle genannten Flächen größer ist als die Summe der an erster Stelle genannten Flächen, da ansonsten die Steuerhülse 171 nicht einer Bewegung des Steuerschiebers 123 nach unten folgen würde. Dies wird dadurch erreicht, dass der untere Bund 193 der Steuerhülse 171 einen geringeren Durchmesser aufweist als der mittlere und der obere Bund 189 bzw. 188, so dass die Bohrung der Kolbenhülse 172 im Bereich des unteren Niederdruckraumes 148 einen Absatz aufweist.

[0041] Die Bewegung, welche die Steuerhülse 171 ins-

gesamt ausführt, stimmt dabei identisch mit jenem Maß überein, um das der Steuerschieber 123 verschoben wurde; denn die Abwärtsbewegung der Steuerhülse endet, wenn die obere erste Steuerkante 138a und die obere zweite Steuerkante 139a wieder zueinander fluchten und die vorstehend beschriebenen Öffnungen wieder verschließen. Durch die Verschiebung der Steuerhülse nach unten öffnen sich zwischen der oberen dritten Steuerkante 198a und den oberen vierten Steuerkanten 199a Öffnungen, durch welche der ringförmige äußere Hochdruckraum 186 über die äußeren Steuerdurchbrüche 200 mit der Ringnut 140 verbunden wird. Dementsprechend strömt Hydraulikflüssigkeit von dem ringförmigen äußeren Hochdruckraum 186 durch die äußeren Steuerdurchbrüche 200 hindurch über die Ringnut 140 und die Axialbohrungen 141 in den zweiten Arbeitsraum 120, wodurch der Kolben 108 abwärts bewegt wird. Die Bewegung des Kolbens 108 stimmt dabei identisch mit jenem Maß überein, um das der Steuerschieber 123 und dementsprechend die Steuerhülse 171 verschoben wurde; denn die Abwärtsbewegung des Kolbens endet, wenn die obere dritte Steuerkante 198a und die oberen vierten Steuerkanten 199a wieder zueinander fluchten und die vorstehend beschriebenen Öffnungen wieder verschließen.

[0042] Umgekehrt gilt: Wird der elektrische Linear-Direktantrieb 107 von der Steuerung 103 so angesteuert, dass der Läufer 112 um ein in dem hinterlegten Bewegungsprogramm bestimmtes Maß nach oben bewegt wird, so wird diese Bewegung über die Koppelstange 150 identisch auf den Steuerschieber 123 übertragen. Hierdurch entstehen zwischen der unteren ersten Steuerkante 138b und den unteren zweiten Steuerkanten 139b Öffnungen, durch welche der Steuerraum 196 mit dem inneren Niederdruckraum 191 verbunden wird. Dementsprechend erfolgt über die inneren Steuerdurchbrüche 197, die Längsbohrung 147 des Steuerschiebers 123, den oberen Niederdruckraum 146 und die Bohrung 192 ein Druckausgleich zwischen dem Steuerraum 196 und dem Rücklauf-Anschluss 145, so dass im Steuerraum 196 der Rücklaufdruck herrscht. Die Steuerhülse 171 wird infolge des im inneren unteren Hochdruckraum 179 herrschenden Betriebsdrucks der Druckmittelversorgung 113 nach oben verschoben. Für diese Bewegung der Steuerhülse 171 nach oben (bei drucklosem Steuerraum 196) ist ausreichend, dass die Projektion in z-Richtung der den unteren Hochdruckraum 179 begrenzenden Stirnfläche 184 der Steuerhülse 171 und des oberen Stopfens 181 größer ist als die Projektion in z-Richtung der den oberen Hochdruckraum 176 begrenzenden Stirnfläche der Steuerhülse 171. Die Bewegung der Steuerhülse 171 stimmt dabei identisch mit jenem Maß überein, um das der Steuerschieber 123 nach oben verschoben wurde; denn die Aufwärtsbewegung der Steuerhülse 171 endet, wenn die untere erste Steuerkante 138b und die unteren zweiten Steuerkanten 139b wieder zueinander fluchten und die vorstehend beschriebenen Öffnungen wieder verschließen. Die bei der ent-

sprechenden Aufwärtsbewegung der Steuerhülse 171 aus dem Steuerraum 196 verdrängte Hydraulikflüssigkeit fließt durch die inneren Steuerdurchbrüche 197, Längsbohrung 147 des Steuerschiebers 123, den oberen Niederdruckraum 146 und die Bohrung 192 in den Tank 115 zurück. Zugleich strömt aus der Druckmittelversorgung 113 Hydraulikflüssigkeit in den inneren unteren Hochdruckraum 179 nach. Durch die Verschiebung der Steuerhülse 171 nach oben öffnen sich zwischen der unteren dritten Steuerkante 198b und den unteren vierten Steuerkanten 199b Öffnungen, durch welche der ringförmige untere Niederdruckraum 148 über die äußeren Steuerdurchbrüche 200 mit der Ringnut 140 verbunden wird. Dementsprechend erfolgt über die Axialbohrungen 141 ein Druckausgleich zwischen dem zweiten Arbeitsraum 120 und dem Rücklauf-Anschluss 145, so dass im zweiten Arbeitsraum 120 der Rücklaufdruck herrscht. Der Kolben 108 wird infolge des im ersten Arbeitsraum 119 herrschenden Betriebsdrucks der Druckmittelversorgung 113 noch oben verschoben. Die Bewegung des Kolbens 108 stimmt dabei identisch mit jenem Maß überein, um das der Steuerschieber 123 und dementsprechend die Steuerhülse 171 nach oben verschoben wurden; denn die Aufwärtsbewegung des Kolbens 108 endet, wenn die untere dritte Steuerkante 198b und die unteren vierten Steuerkanten 199b wieder zueinander fluchten und die vorstehend beschriebenen Öffnungen wieder verschließen. Die bei der entsprechenden Aufwärtsbewegung des Kolbens 108 aus dem zweiten Arbeitsraum 120 verdrängte Hydraulikflüssigkeit fließt durch die Axialbohrungen 141, die Ringnut 140, den unteren Niederdruckraum 148 und die Radialbohrungen 194 in den Tank 115 zurück. Zugleich strömt aus der Druckmittelversorgung 113 Hydraulikflüssigkeit in den ersten Arbeitsraum 119 nach.

[0043] Zu erwähnen sind noch zwei Anschläge, welche die Bewegung der Steuerhülse 171 relativ zu der Kolbenhülse 172 nach oben und nach unten begrenzen. Hierzu ist, um die Bewegung der Steuerhülse nach oben zu begrenzen, einerseits ein Ring vorgesehen, der im Bereich des Steuerraumes 196 an der diesen Raum begrenzenden Innenfläche 175 der Kolbenhülse 172 fixiert ist und einen Anschlag für den oberen Bund 188 der Steuerhülse bildet. Nach unten wird die Bewegung der Steuerhülse 171 relativ zur Kolbenhülse 172 indessen durch ein Anschlagen der Stirnfläche 184 der Steuerhülse 171 an den unteren Stopfen 183 begrenzt. Wegen dieser Anschläge setzt die vorstehend erläuterte vollständige Bewegung der Steuerhülse 171 entsprechend dem Hub des Steuerschiebers 123 nach oben bzw. nach allerdings unter bestimmten Umständen, nämlich wenn der aktuelle Verstellhub des Steuerschiebers größer ist als die durch den betreffenden Anschlag definierte Bewegungsmöglichkeit der Steuerhülse relativ zur Kolbenhülse, voraus, dass der Kolben 109 mitsamt der Kolbenhülse 172 der Bewegung der Steuerhülse bereits teilweise nach oben bzw. nach unten gefolgt ist. Liegt (infolge eines entsprechend großen aktuellen Verstellhubes des Steuerschie-

bers 123) die Steuerhülse 171 an dem ihre Bewegung relativ zur Kolbenhülse 172 nach oben bzw. nach unten begrenzenden Anschlag an, führen die Steuerhülse 171 und der Kolben 109 einen Teil der nach oben bzw. nach unten gerichteten Bewegung gemeinsam aus.

[0044] Das in Fig. 5 illustrierte Ausführungsbeispiel funktioniert, was die miteinander zusammenwirkenden Steuerkanten, d.h. die beiden ersten und zweiten Steuerkantenpaare sowie die beiden dritten und vierten Steuerkantenpaare betrifft, prinzipiell vergleichbar wie das Ausführungsbeispiel nach Fig. 4; näheres ergibt sich, soweit erforderlich, aus den weiter unten gegebenen Erläuterungen. Hervorzuheben sind zunächst, was die technisch-konstruktive Gestaltung der in Fig. 5 veranschaulichten elektrohydraulischen Antriebseinheit einer erfindungsgemäßen Stanzmaschine und deren Unterschiede zu der Ausführungsform nach Fig. 4 betrifft, die nachstehend im einzelnen aufgeführten, durchaus relevanten Gesichtspunkte:

[0045] Zum einen wird der innere obere Hochdruckraum 176 über mehrere die Steuerhülse 171 durchsetzende Axialbohrungen 201 vom ringförmigen äußeren Hochdruckraum 186 aus mit dem Betriebsdruck der Druckmittelversorgung 113 beaufschlagt. Hierdurch lässt sich die nach Fig. 4 vorgesehene, das Zylinderbauteil 108 durchsetzende Bohrung 177 vermeiden.

[0046] Weiterhin ist - gegenüber der Ausführungsform nach Fig. 4 - die Steuerhülse 171 signifikant verkürzt, indem der untere Abschnitt der Steuerhülse entfällt. In der Terminologie der vorstehenden Erläuterung der Fig. 4 weist die Steuerhülse 171 nach Fig. 5 nur zwei Bunde auf, nämlich den oberen Bund 188 und den (die beiden dritten Steuerkanten aufweisenden) mittleren Bund 189. Der bei der Ausführungsform nach Fig. 4 unterhalb des mittleren Bundes 189 liegende Abschnitt der Steuerhülse ist somit bei der Ausführungsform nach Fig. 5 entfallen. Ebenfalls entfallen ist der untere innere Hochdruckraum 179 der Ausführungsform nach Fig. 4. Dies erlaubt zum einen eine besonders geringe Bauhöhe der hydromechanischen Leistungsstufe und somit einen besonders kompakten Aufbau des elektrohydraulischen Verstärkers, was sich - infolge der Verringerung der bewegten Massen - auch auf die mit diesem erzielbare Dynamik günstig auswirkt. Weiterhin gestattet diese Bauweise, den oberen Niederdruckraum 146 über die die Steuerhülse 171 über deren gesamte Länge durchsetzende Längsbohrung 202 und die Längsbohrung 147 des Steuerschiebers 123 hindurch an den unteren Niederdruckraum 148 anzuschließen. Auch die nach der Ausführungsform nach Fig. 4 vorgesehene Bohrung 192 kann auf diese Weise entfallen. Insgesamt ergeben sich hierdurch gegenüber der Ausführungsform nach Fig. 4 erkennbar signifikante konstruktive Vereinfachungen und die Möglichkeit eines besonders kompakten Aufbaus, ohne dass dies die Funktionsweise beeinträchtigen würde.

[0047] Wenngleich sich aufgrund der bestehenden Parallelen aus den vorstehenden Erläuterungen zur Fig. 4

dem Fachmann grundsätzlich auch die Funktionsweise der Ausführungsform nach Fig. 5 erschließt, wird letztere speziell wie folgt erläutert:

5 Wird der elektrische Linear-Direktantrieb 107 von der Steuerung 103 so angesteuert, dass der Läufer 112 um ein in dem hinterlegten Stanzprogramm bestimmtes Maß nach unten bewegt wird, so wird diese Bewegung über die Koppelstange 150 identisch auf den Steuerschieber 123 übertragen. Hierdurch entstehen zwischen der oberen ersten Steuerkante des Steuerschiebers 123 und den oberen zweiten Steuerkanten der Steuerhülse 171 Öffnungen, durch welche der Steuerraum 196 mit dem oberen Hochdruckraum 176 verbunden wird. Dementsprechend strömt Hydraulikflüssigkeit von dem oberen Hochdruckraum 176 durch die inneren Steuerdurchbrüche 197 hindurch in den Steuerraum 196 und ruft auf diese Weise eine nach unten gerichtete Bewegung der Steuerhülse 171 hervor. Im Hinblick auf diese Funktion ist bedenken, dass im Sinne der auf die Steuerhülse 171 wirkenden hydraulischen Kräfte die Projektion in z-Richtung der - um die den ringförmigen äußeren Hochdruckraum 186 begrenzende Ringfläche des mittleren Bundes 189 verminderte - den ringförmigen äußeren Hochdruckraum 186 begrenzenden Ringfläche des oberen Bundes 188 der Steuerhülse 171 entgegenwirkt der Projektion in z-Richtung der den oberen Hochdruckraum 176 begrenzenden Stirnfläche der Steuerhülse 171 sowie der den Steuerraum begrenzenden Ringfläche des oberen Bundes 188 der Steuerhülse. Wesentlich für die Funktion ist somit, dass die Summe der an zweiter Stelle genannten Flächen größer ist als die Summe der an erster Stelle genannten Flächen, da ansonsten die Steuerhülse 171 nicht einer Bewegung des Steuerschiebers 123 nach unten folgen würde.

[0048] Durch die Verschiebung der Steuerhülse nach unten öffnen sich zwischen der an dem mittleren Bund 189 der Steuerhülse 171 vorgesehenen oberen dritten Steuerkante und den an der Kolbenhülse 172 vorgesehenen oberen vierten Steuerkanten Öffnungen, durch welche der ringförmige äußere Hochdruckraum 186 über die äußeren Steuerdurchbrüche 200 mit der Ringnut 140 verbunden wird. Dementsprechend strömt Hydraulikflüssigkeit von dem ringförmigen äußeren Hochdruckraum 186 durch die äußeren Steuerdurchbrüche 200 hindurch über die Ringnut 140 und die Axialbohrungen 141 in den zweiten Arbeitsraum 120, wodurch der Kolben 108 abwärts bewegt wird. Die Bewegung des Kolbens 108 stimmt dabei identisch mit jenem Maß überein, um das der Steuerschieber 123 und dementsprechend die Steuerhülse 171 verschoben wurde; denn die Abwärtsbewegung des Kolbens endet, wenn die obere dritte Steuerkante und die oberen vierten Steuerkanten wieder zueinander fluchten und die vorstehend beschriebenen Öffnungen wieder verschließen.

[0049] Umgekehrt gilt: Wird der elektrische Linear-Direktantrieb 107 von der Steuerung 103 so angesteuert, dass der Läufer 112 um ein in dem hinterlegten Stanzprogramm bestimmtes Maß nach oben bewegt wird, so wird diese Bewegung über die Koppelstange 150 identisch auf den Steuerschieber 123 übertragen. Hierdurch entstehen zwischen der an dem Steuerschieber 123 vorgesehenen unteren ersten Steuerkante und den an der Steuerhülse 171 vorgesehenen unteren zweiten Steuerkanten Öffnungen, durch welche der Steuerraum 196 über die Längsbohrung 202 der Steuerhülse 171 mit dem unteren Niederdruckraum 148 verbunden wird. Dementsprechend erfolgt über die inneren Steuerdurchbrüche 197 und die Längsbohrung 202 der Steuerhülse 171 ein Druckausgleich zwischen dem Steuerraum 196 und dem Rücklauf-Anschluss 145, so dass im Steuerraum 196 der Rücklaufdruck herrscht. Die Steuerhülse 171 wird infolge des im ringförmigen äußeren Hochdruckraum 186 herrschenden Betriebsdrucks der Druckmittelversorgung 113 noch oben verschoben. Für diese Bewegung der Steuerhülse 171 nach oben (bei drucklosem Steuerraum 196) ist ausreichend, dass die Projektion in z-Richtung der - um die den ringförmigen äußeren Hochdruckraum 186 begrenzende Ringfläche des mittleren Bundes 189 verminderte - den ringförmigen äußeren Hochdruckraum 186 begrenzenden Ringfläche des oberen Bundes 188 der Steuerhülse 171 größer ist als die Projektion in z-Richtung der den oberen Hochdruckraum 176 begrenzenden Stirnfläche der Steuerhülse 171. Dies wird durch den im Bereich des ringförmigen äußeren Hochdruckraumes 186 vorgesehenen Absatz in der Kolbenhülse 172 erreicht, aufgrund dessen der Durchmesser des oberen Bundes 188 der Steuerhülse deutlich größer ist als der Durchmesser des mittleren Bundes 189 der Steuerhülse.

[0050] Die bei der entsprechenden Aufwärtsbewegung der Steuerhülse 171 aus dem Steuerraum 196 verdrängte Hydraulikflüssigkeit fließt durch die Längsbohrung 202 der Steuerhülse 171 und den unteren Niederdruckraum 148 in den Tank 115 zurück. Zugleich strömt aus der Druckmittelversorgung 113 Hydraulikflüssigkeit in ringförmigen äußeren Hochdruckraum 186 nach. Durch die Verschiebung der Steuerhülse 171 nach oben öffnen sich zwischen der unteren dritten Steuerkante und den unteren vierten Steuerkanten Öffnungen, durch welche der untere Niederdruckraum 148 über die äußeren Steuerdurchbrüche 200 mit der Ringnut 140 verbunden wird. Dementsprechend erfolgt über die Axialbohrungen 141 ein Druckausgleich zwischen dem zweiten Arbeitsraum 120 und dem Rücklauf-Anschluss 145, so dass im zweiten Arbeitsraum 120 der Rücklaufdruck herrscht. Der Kolben 108 wird infolge des im ersten Arbeitsraum 119 herrschenden Betriebsdrucks der Druckmittelversorgung 113 noch oben verschoben. Die bei der entsprechenden Aufwärtsbewegung des Kolbens 108 aus dem zweiten Arbeitsraum 120 verdrängte Hydraulikflüssigkeit fließt durch die Axialbohrungen 141, die Ringnut 140, den unteren Niederdruckraum 148 und die Radialboh-

rungen 194 in den Tank 115 zurück. Zugleich strömt aus der Druckmittelversorgung 113 Hydraulikflüssigkeit in den ersten Arbeitsraum 119 nach.

[0051] Ebenfalls dargestellt sind in Fig. 5 zwei Anschlüsse, welche die Bewegung der Steuerhülse 171 relativ zur Kolbenhülse 172 in beiden Richtungen begrenzen, und zwar in jeder Richtung auf etwa 2% bis 3% des gesamten maximalen Arbeitshubes des Kolbens 109, was bei der Auslegung des Arbeitshubes auf 40mm einer Bewegungsmöglichkeit der Steuerhülse 171 relativ zum Kolben 109 von jeweils 2mm bis 3mm aus der in der Zeichnung gezeigten Nullstellung des Steuerschiebers entspricht. Bei jenen Anschlüssen handelt es sich um die beiden in dem unteren Abschnitt der Bohrung der Kolbenhülse fixierten Ringe, an denen der mittlere Bund 189 der Steuerhülse 171 anschlagen kann. Für die Funktion dieser Anschlüsse gelten die Erläuterungen zur Fig. 4 in entsprechender Weise. Eine andere Gestaltung bzw. Anordnung der Anschlüsse, die geeignet ist, die an dem mittleren Bund 189 angeordneten dritten Steuerkanten zu schonen, ist für den Fachmann erkennbar ebenfalls möglich.

25 Patentansprüche

1. Elektrohydraulischer Verstärker mit einem elektromechanischen Wandler (2; 102) und einer an eine Druckmittelversorgung (13; 113) angeschlossenen, einen Zylinder (8; 108) und einen darin längs der Arbeitsachse (5; 105) verschiebbaren Kolben (9; 109) aufweisenden hydromechanischen Leistungsstufe (10; 110), wobei der elektromechanische Wandler auf einen der hydromechanischen Leistungsstufe zugeordneten, zumindest teilweise im Inneren des Kolbens (9; 109) angeordneten, in einer Führungsbohrung längs der Arbeitsachse verschiebbar geführten Steuerschieber (23; 123) wirkt, der zwei erste Steuerkanten (38a, 38b; 138a, 138b) aufweist, die zur Ausbildung einer hydraulischen Folgeregelung mit korrespondierenden, an der Führungsbohrung vorgesehenen zweiten Steuerkanten (39a, 39b; 139a, 139b) zusammenwirken, wobei die Führungsbohrung zweiteilig mit einem zylinderfesten ersten Abschnitt (25; 125) und einem längs der Arbeitsachse (5; 105) lageveränderbaren zweiten Abschnitt (27; 127), der die zweiten Steuerkanten (39a, 39b; 139a, 139b) aufweist, ausgeführt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Abschnitt (25; 125) der Führungsbohrung in einer in den Zylinder (8; 108) eingesetzten Führungshülse (29; 129) ausgeführt ist.
2. Elektrohydraulischer Verstärker nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Führungshülse (29; 129) zumindest bereichsweise an ihrer Außenfläche mit Hydraulikflüssigkeit umspült, bevorzugt von einem ringförmigen hydraulischen Arbeitsraum

(20; 120) umgeben ist.

3. Elektrohydraulischer Verstärker nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die hydromechanische Leistungsstufe (10) einstufig ausgeführt ist, indem der zweite Abschnitt (27) der Führungsbohrung kolbenfest ausgeführt ist. 5
4. Elektrohydraulischer Verstärker nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Außenfläche (32) der Führungshülse (29) dichtend an einer Innenfläche (33) einer Sackbohrung (31) des Kolbens (9) anliegt. 10
5. Elektrohydraulischer Verstärker nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die hydromechanische Leistungsstufe (110) zweistufig ausgeführt ist, indem der Steuerschieber (123) einen Vorsteuerschieber darstellt und der zweite Abschnitt (127) der Führungsbohrung sowie die zweiten Steuerkanten (139a, 139b) an einer in dem Kolben (109) längs der Arbeitsachse (105) verschiebbar geführten Steuerhülse (171) ausgeführt sind, die ihrerseits zwei dritte Steuerkanten (198a, 198b) aufweist, welche zur Ausbildung einer hydraulischen Folgeregelung mit zwei korrespondierenden vierten Steuerkanten (199a, 199b) des Kolbens (109) zusammenwirken. 15
20
25
6. Elektrohydraulischer Verstärker nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Außenfläche der Führungshülse (129) dichtend an einer Innenfläche (175) des Kolbens (109) oder einer in diesen eingesetzten Kolbenhülse (172) anliegt. 30
35
7. Elektrohydraulischer Verstärker nach Anspruch 5 oder Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** Anschläge vorgesehen sind, welche die Bewegung der Steuerhülse (171) relativ zum Kolben (109) in beiden Richtungen begrenzen. 40
8. Elektrohydraulischer Verstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der elektromechanische Wandler (2; 102) als elektrischer Linear-Direktantrieb (7; 107) mit einem längs der Arbeitsachse (5; 105) der hydromechanischen Leistungsstufe (10; 110) bewegbaren Läufer (12; 112) ausgeführt ist. 45
9. Elektrohydraulischer Verstärker nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Stator (52; 152) des elektrischen Linear-Direktantriebs (7; 107) fest mit einer Stirnwand (44; 144) des Zylinders der hydromechanischen Leistungsstufe (10; 110) verbunden ist. 50
55
10. Elektrohydraulischer Verstärker nach Anspruch 8 oder Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass**

der Läufer (12; 112) des elektrischen Linear-Direktantriebs (7; 107) über eine die Stirnwand (44; 144) des Zylinders (8; 108) durchdringende Koppelstange (50; 150) fest mit dem Steuerschieber (23; 123) verbunden ist.

11. Elektrohydraulischer Verstärker nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Koppelstange (50; 150) einen im wesentlichen mit dem Rücklaufdruck beaufschlagten Hohlraum (42; 142) des Zylinders (8; 108) der hydromechanischen Leistungsstufe (10; 110) durchsetzt.
12. Elektrohydraulischer Verstärker nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Läufer (12; 112) des elektrischen Linear-Direktantriebs (7; 107) in einer mit dem Zylinder (8; 108) der hydromechanischen Leistungsstufe (10; 110) dichtend verbundenen, den Stator (52, 152) des elektrischen Linear-Direktantriebs durchsetzenden Büchse (B) aufgenommen ist, deren Innenraum an einen Hydraulikflüssigkeit enthaltenden Niederdruckraum (46; 146) der hydromechanischen Leistungsstufe angeschlossen ist.
13. Elektrohydraulischer Verstärker nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der elektrische Linear-Direktantrieb (7; 107) ein mit dem Zylinder (8; 108) der hydromechanischen Leistungsstufe (10; 110) dichtend verbundenes Gehäuse (49; 149) aufweist, dessen Innenraum an einen Hydraulikflüssigkeit enthaltenden Raum (42; 142) der hydromechanischen Leistungsstufe (10; 110) angeschlossen ist.
14. Elektrohydraulischer Verstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rücklauf-Anschluss (45) der hydromechanischen Leistungsstufe (10) im Bereich der Stirnwand (44) des Zylinders (8) angeordnet ist, wobei der Steuerschieber (23) der hydromechanischen Leistungsstufe (10) von deren Rücklaufstrom durchströmt ist.

Claims

1. An electrohydraulic amplifier with an electromechanical converter (2; 102) and a hydromechanical power stage (10; 110), connected to a pressurising medium supply (13; 113), having a cylinder (8; 108) and a piston (9; 109) that can be moved therein along the working axis (5; 105), wherein the electromechanical converter acts on a control slider (23; 123) assigned to the hydromechanical power stage, arranged at least partly in the interior of the piston (9; 109), guided such that it can move in a guide bore along the working axis, which control slider has two first control edg-

- es (38a, 38b; 138a, 138b), which for purposes of forming an hydraulic slave control interact with corresponding second control edges (39a, 39b; 139a, 139b) provided on the guide bore, wherein the guide bore is embodied in two parts, with a first section (25; 125) fixed to the cylinder, and a second section (27; 127), the location of which can be altered along the working axis (5; 105), which second section has the second control edges (39a, 39b; 139a, 139b), **characterised in that** the first section (25; 125) of the guide bore is embodied in a guide sleeve (29; 129) inserted into the cylinder (8; 108).
2. The electrohydraulic amplifier in accordance with claim 1, **characterised in that** in at least some regions hydraulic fluid flows around the outer surface of the guide sleeve (29; 129), which is preferably surrounded by an annular hydraulic working space (20; 120).
 3. The electrohydraulic amplifier in accordance with claim 1 or claim 2, **characterised in that** the hydromechanical power stage (10) is embodied as a single stage, **in that** the second section (27) of the guide bore is embodied so as to be fixed to the piston.
 4. The electrohydraulic amplifier in accordance with claim 3, **characterised in that** an outer surface (32) of the guide sleeve (29) fits closely against an inner surface (33) of a blind bore (31) of the piston (9) in a sealed manner.
 5. The electrohydraulic amplifier in accordance with claim 1 or claim 2, **characterised in that** the hydromechanical power stage (110) is embodied as two stages, **in that** the control slider (123) represents a pilot control slider, and the second section (127) of the guide bore, together with the second control edges (139a, 139b) are embodied on a control sleeve (171) guided such that it can be moved in the piston (109) along the working axis (105), which control sleeve, for its part, has two third control edges (198a, 198b), which interact with two corresponding fourth control edges (199a, 199b) of the piston (109) for purposes of forming an hydraulic slave control.
 6. The electrohydraulic amplifier in accordance with claim 5, **characterised in that** an outer surface of the guide sleeve (129) fits closely against an inner surface (175) of the piston (109) in a sealed manner, or against a piston sleeve (172) inserted in the latter.
 7. The electrohydraulic amplifier in accordance with claim 5 or claim 6, **characterised in that** stops are provided, which limit the movement of the control sleeve (171) relative to the piston (109) in both directions.
 8. The electrohydraulic amplifier in accordance with one of the claims 1 to 7, **characterised in that** the electromechanical converter (2; 102) is embodied as an electrical linear direct drive (7; 107), with a rotor (12; 112) that can be moved along the working axis (5; 105) of the hydromechanical power stage (10; 110).
 9. The electrohydraulic amplifier in accordance with claim 8, **characterised in that** the stator (52; 152) of the electrical linear direct drive (7; 107) is connected in a fixed manner with an end wall (44; 144) of the cylinder of the hydromechanical power stage (10; 110).
 10. The electrohydraulic amplifier in accordance with claim 8 or claim 6, **characterised in that** the rotor (12; 112) of the electrical linear direct drive (7; 107) is connected in a fixed manner with the control slider (23; 123) via a coupling rod (50; 150) penetrating the end wall (44; 144) of the cylinder (8; 108).
 11. The electrohydraulic amplifier in accordance with claim 10, **characterised in that** the coupling rod (50; 150) passes through a cavity (42; 142) of the cylinder (8; 108) of the hydromechanical power stage (10; 110), which cavity is essentially acted upon by the return pressure.
 12. The electrohydraulic amplifier in accordance with one of the claims 8 to 11, **characterised in that** the rotor (12; 112) of the electrical linear direct drive (7; 107) is accommodated in a bushing (B), connected in a sealed manner with the cylinder (8; 108) of the hydromechanical power stage (10; 110), and passing through the stator (52; 152) of the electrical linear direct drive; the interior of the bushing is connected to a low-pressure chamber (46; 146) of the hydromechanical power stage containing an hydraulic fluid.
 13. The electrohydraulic amplifier in accordance with one of the claims 8 to 11, **characterised in that** the electrical linear direct drive (7; 107) has a housing (49; 149) connected in a sealed manner with the cylinder (8; 108) of the hydromechanical power stage (10; 110); the interior of the housing is connected to a chamber (42; 142) of the hydromechanical power stage (10; 110) containing an hydraulic fluid.
 14. The electrohydraulic amplifier in accordance with one of the claims 1 to 13, **characterised in that** the return port (45) of the hydromechanical power stage (10) is arranged in the region of the end wall (44) of the cylinder (8), wherein the return flow of the hydromechanical power stage (10) flows through the control slider (23) of the latter.

Revendications

1. Amplificateur électrohydraulique avec un convertisseur électromécanique (2 ; 102) et un niveau de puissance hydromécanique (10 ; 110) raccordé à une alimentation en fluide sous pression (13 ; 113) et comportant un cylindre (8 ; 108) et un piston (9 ; 109) déplaçable dans celui-ci le long de l'axe de travail (5 ; 105), le convertisseur électromécanique agissant sur un poussoir de commande (23 ; 123) attribué au niveau de puissance hydromécanique, agencé au moins partiellement à l'intérieur du piston (9, 109) et guidé de façon coulissante dans un alésage de guidage le long de l'axe de travail, lequel comporte deux premiers bords de guidage (38a, 38b ; 138a, 138b) coopérant avec des deuxièmes bords de guidage (39a, 39b ; 139a, 139b) correspondants prévus sur l'alésage de guidage, pour établir une régulation de suivi hydraulique, l'alésage de guidage étant conçu en deux parties, avec une première section (25 ; 125) fixe dans le cylindre et une deuxième section (27 ; 127) réglable en position le long de l'axe de travail (5 ; 105), laquelle comporte les deuxièmes bords de guidage (39a, 39b ; 139a, 139b), **caractérisé en ce que** la première section (25 ; 125) de l'alésage de guidage est conçue dans une douille de guidage (29 ; 129) insérée dans le cylindre (8 ; 108).
2. Amplificateur électrohydraulique selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la douille de guidage (29 ; 129) est baigne dans le liquide hydraulique au moins en certains endroits de sa surface extérieure, en étant de préférence entourée par une chambre de travail hydraulique annulaire (20 ; 120).
3. Amplificateur électrohydraulique selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisé en ce que** le niveau de puissance hydromécanique (10) est conçu avec un seul niveau, dans lequel la deuxième section (27) de l'alésage de guidage est conçue solidairement avec le piston.
4. Amplificateur électrohydraulique selon la revendication 3, **caractérisé en ce qu'**une surface extérieure (32) de la douille de guidage (29) s'applique de façon étanche sur une surface intérieure (33) d'un alésage borgne (31) du piston (9).
5. Amplificateur électrohydraulique selon la revendication 1 ou la revendication 2, **caractérisé en ce que** le niveau de puissance hydromécanique (110) est conçu avec deux niveaux, sachant que le poussoir de commande (123) représente un poussoir de commande d'avance, et que la deuxième section (127) de l'alésage de guidage ainsi que les deuxièmes bords de commande (139a, 139b) sont conçus sur une douille de commande (171) guidée de façon coulissante dans le piston (109) le long de l'axe de travail (105), laquelle comporte pour sa part deux troisièmes bords de commande (198a, 198b) coopérant avec deux quatrièmes bords de commande (199a, 199b) du piston (109) pour établir une régulation de suivi hydraulique.
6. Amplificateur électrohydraulique selon la revendication 5, **caractérisé en ce qu'**une surface extérieure de la douille de guidage (129) s'applique de façon étanche sur une surface intérieure (175) du piston (109) ou sur une douille de piston (172) insérée dans celui-ci.
7. Amplificateur électrohydraulique selon la revendication 5 ou la revendication 6, **caractérisé en ce qu'il** est prévu des butées limitant le mouvement de la douille de commande (171) par rapport au piston (109) dans les deux directions.
8. Amplificateur électrohydraulique selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** le convertisseur électromécanique (2 ; 102) est conçu comme un entraînement direct linéaire électrique (7 ; 107) avec un rotor (12 ; 112) déplaçable le long de l'axe de travail (5 ; 105) du niveau de puissance hydromécanique (10 ; 110).
9. Amplificateur électrohydraulique selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le stator (52 ; 152) de l'entraînement direct linéaire électrique (7 ; 107) est relié fixement à une paroi frontale (44 ; 144) du cylindre du niveau de puissance hydromécanique (10 ; 110).
10. Amplificateur électrohydraulique selon la revendication 8 ou la revendication 6, **caractérisé en ce que** le rotor (12 ; 112) de l'entraînement direct linéaire électrique (7 ; 107) est relié fixement au poussoir de commande (23 ; 123) par le biais d'une tige d'accouplement (50 ; 150) traversant la paroi frontale (44 ; 144) du cylindre (8 ; 108).
11. Amplificateur électrohydraulique selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** la tige d'accouplement (50 ; 150) traverse un espace creux (42 ; 142) du cylindre (8 ; 108) du niveau de puissance hydromécanique (10 ; 110), qui est essentiellement soumis à la pression de retour.
12. Amplificateur électrohydraulique selon l'une des revendications 8 à 11, **caractérisé en ce que** le rotor (12 ; 112) de l'entraînement direct linéaire électrique (7 ; 107) est accueilli dans une douille (B) traversant le stator (52, 152) de l'entraînement direct linéaire électrique et reliée de façon étanche au cylindre (8 ; 108) du niveau de puissance hydromécanique (10 ; 110), dont l'espace intérieur est raccordé à une

chambre de basse pression (46 ; 146) du niveau de puissance hydromécanique contenant un liquide hydraulique.

13. Amplificateur électrohydraulique selon l'une des revendications 8 à 11, **caractérisé en ce que** l'entraînement direct linéaire électrique (7 ; 107) comporte un boîtier (49 ; 149) relié de façon étanche au cylindre (8 ; 108) du niveau de puissance hydromécanique (10 ; 110), dont l'espace intérieur est raccordé à une chambre (42 ; 142) du niveau de puissance hydromécanique (10 ; 110) contenant un liquide hydraulique.
14. Amplificateur électrohydraulique selon l'une des revendications 1 à 13, **caractérisé en ce que** le raccord de retour (45) du niveau de puissance hydromécanique (10) est agencé dans la région de la paroi frontale (44) du cylindre (8), le poussoir de commande (23) du niveau de puissance hydromécanique (10) étant traversé par le flux de retour de celui-ci.

5

10

15

20

25

30

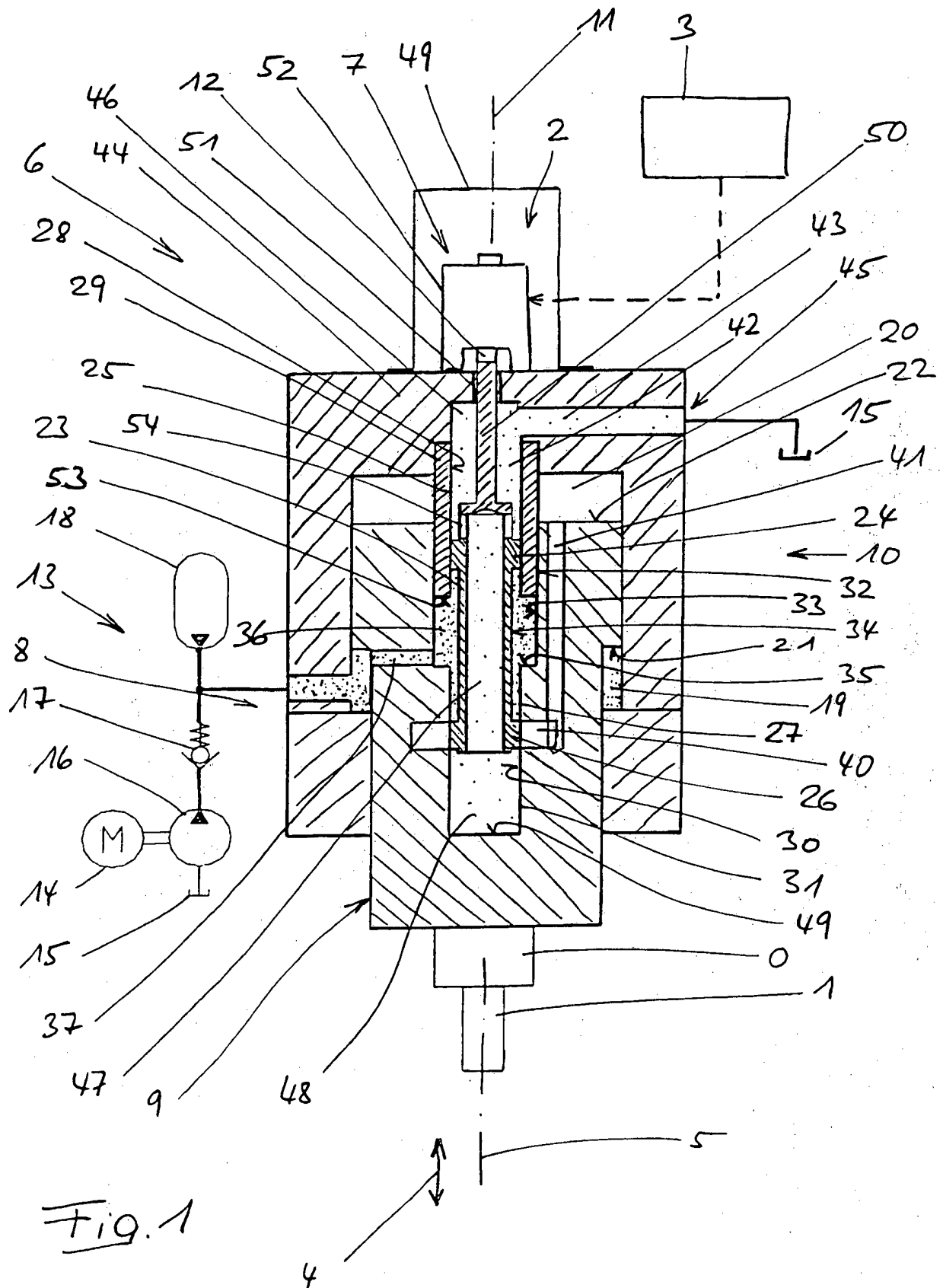
35

40

45

50

55



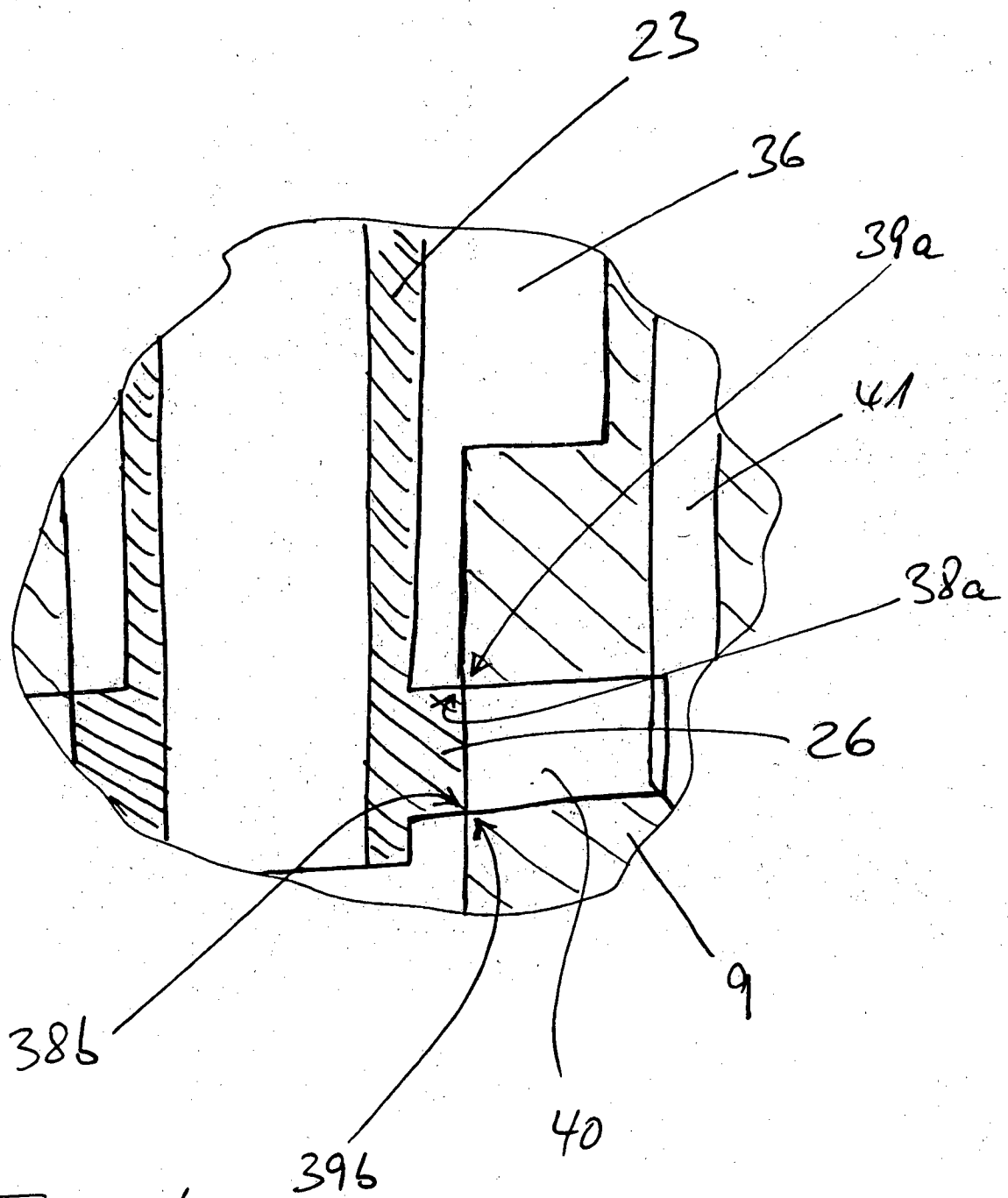


Fig. 1a

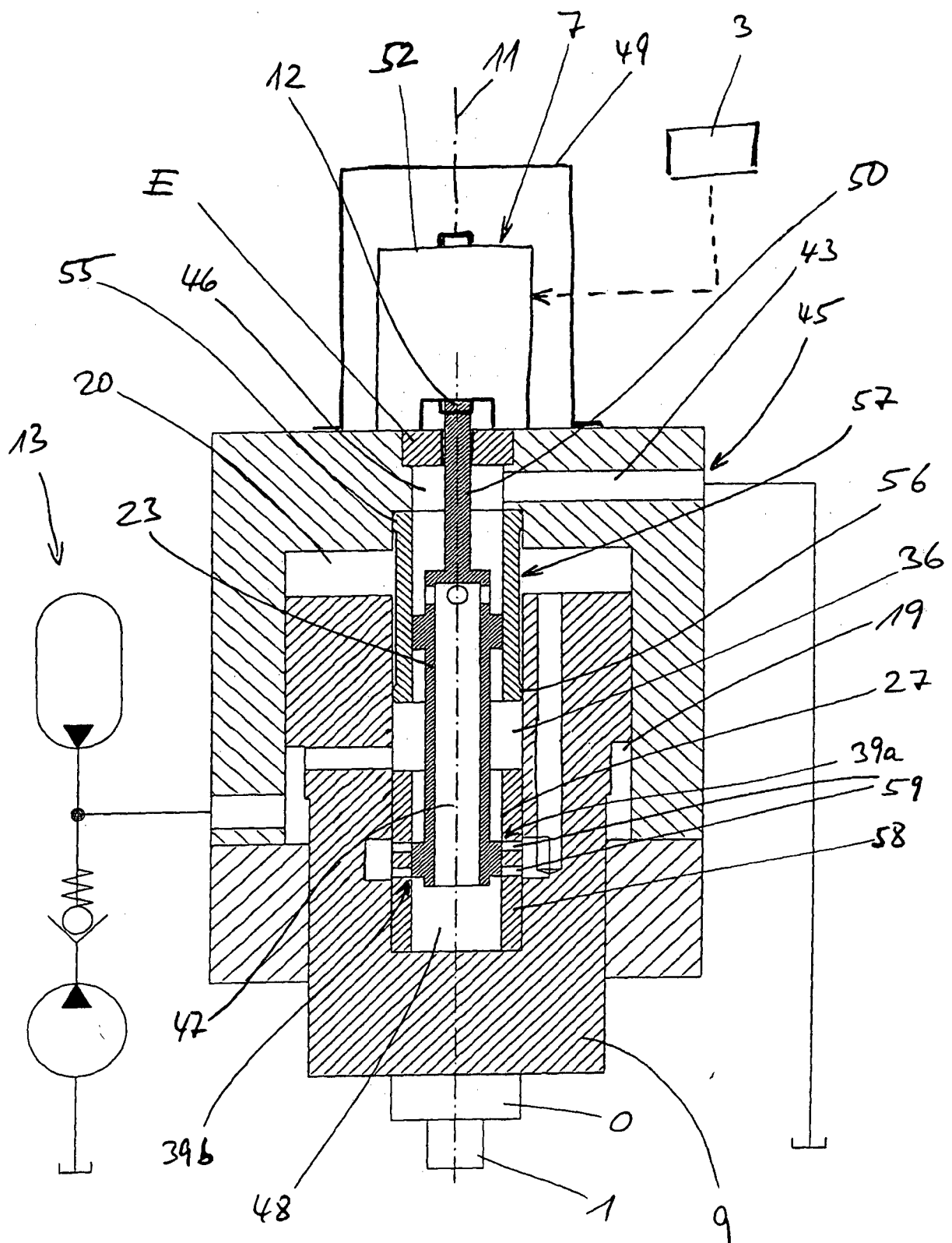


Fig. 2

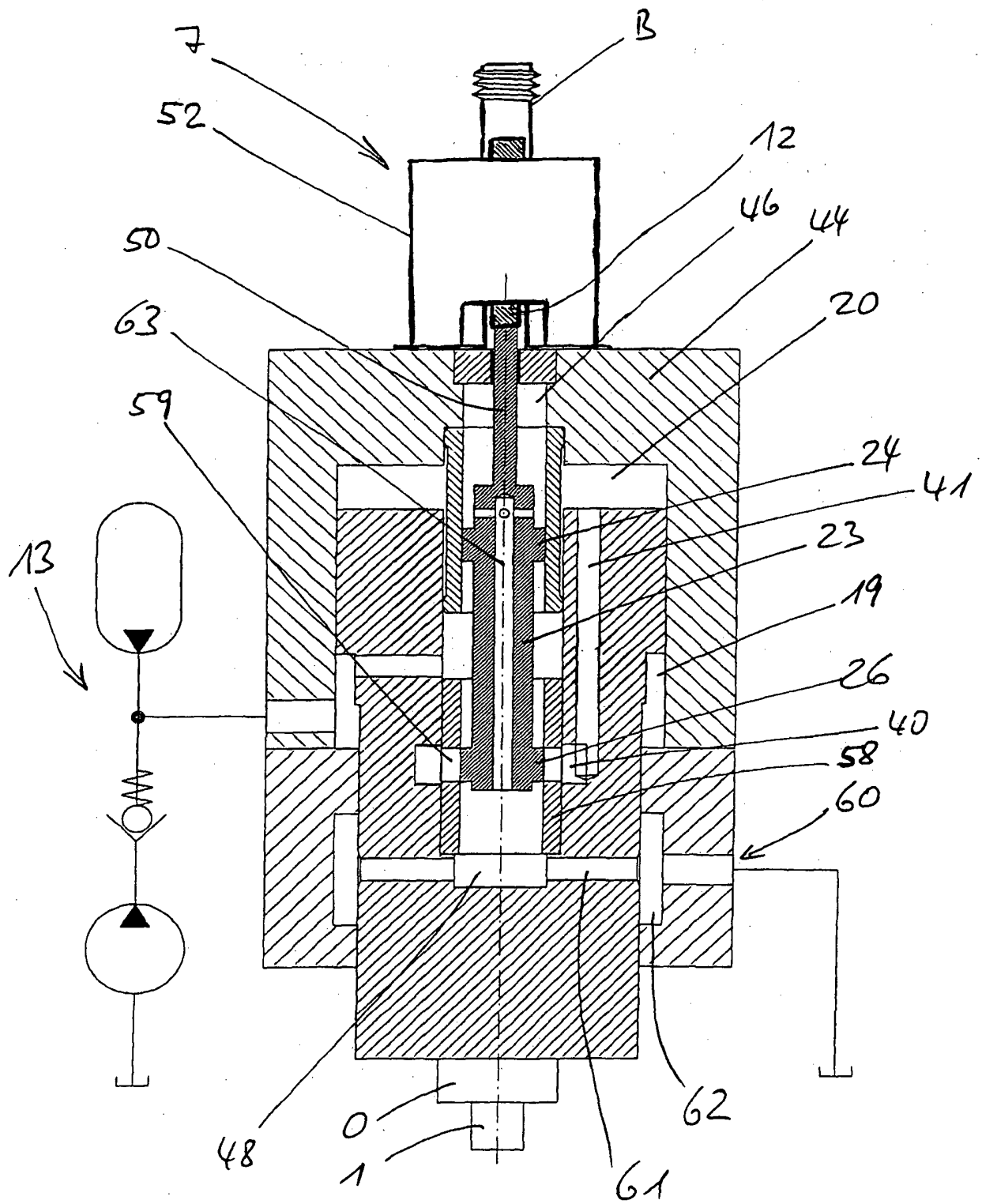
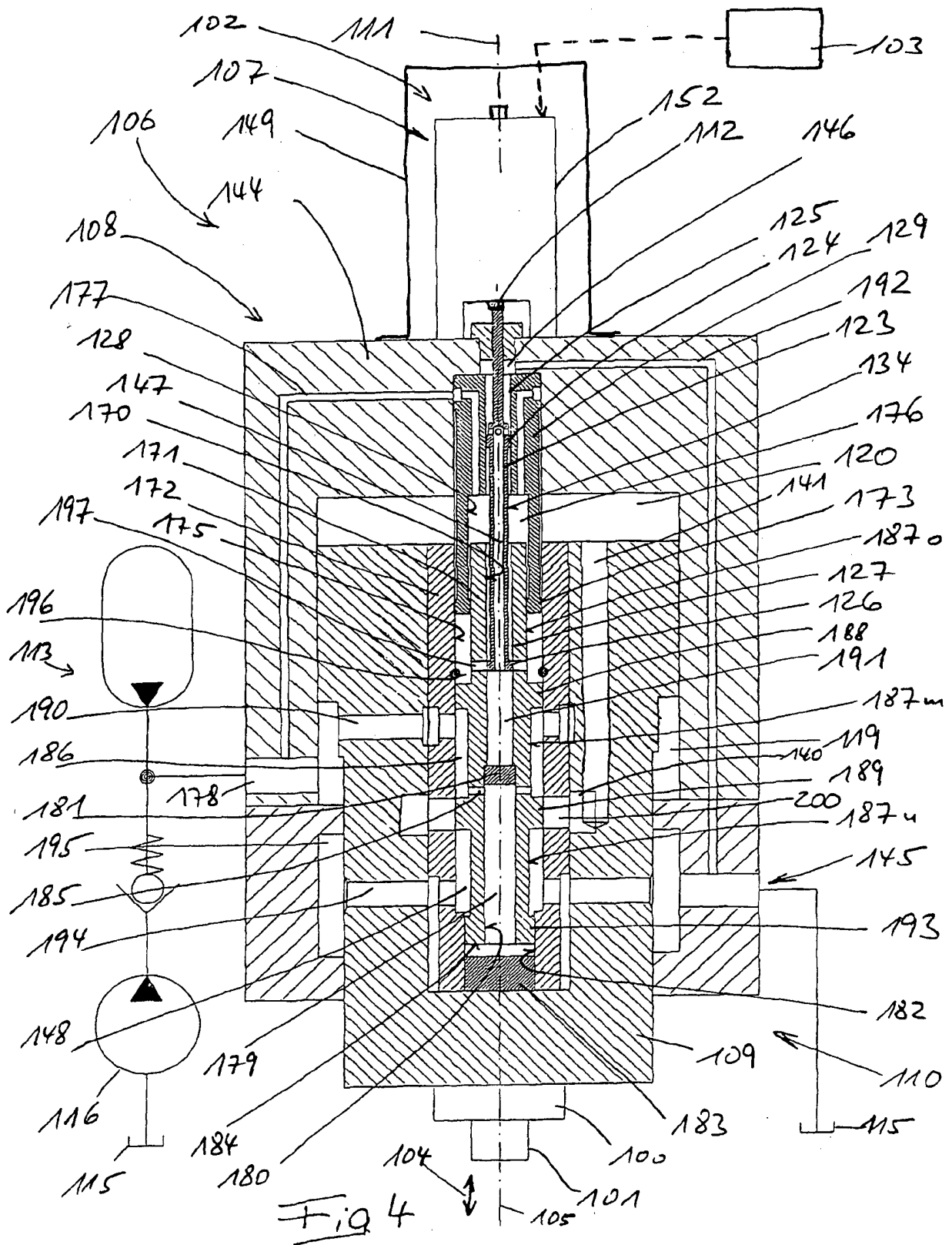


Fig. 3



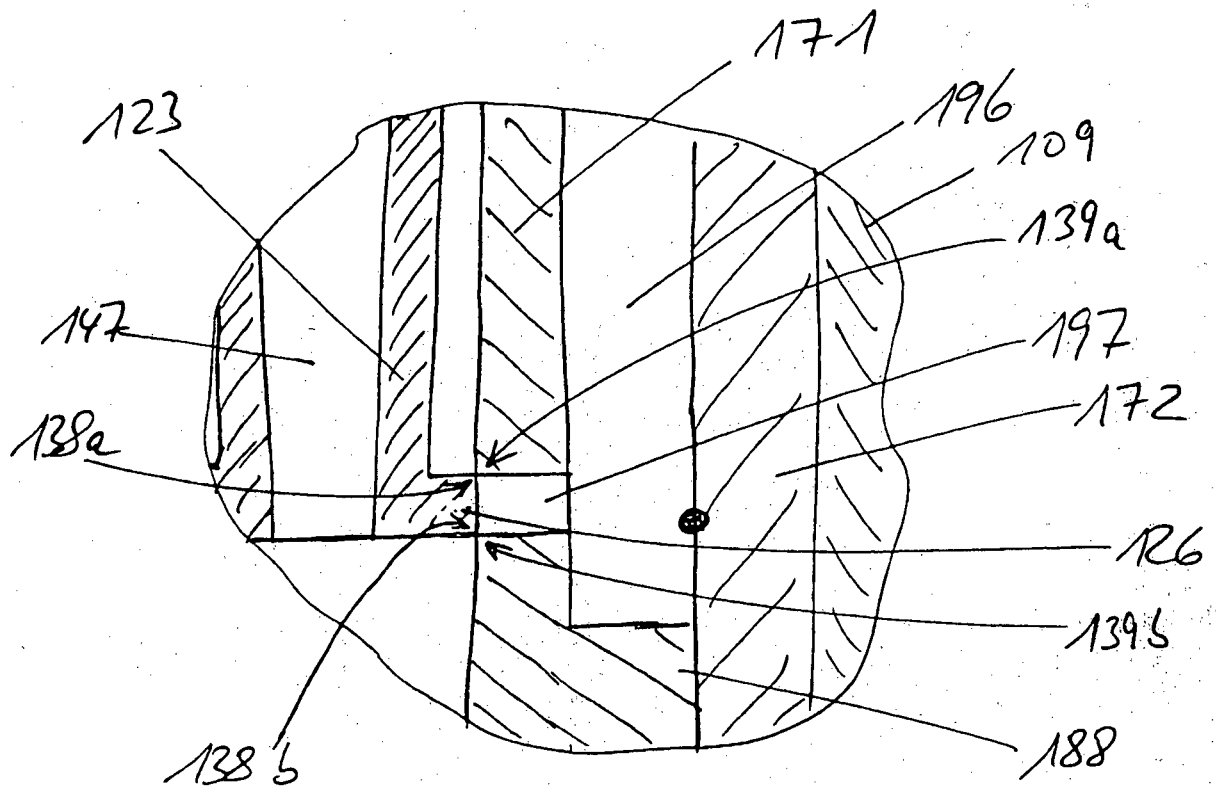


Fig. 4a

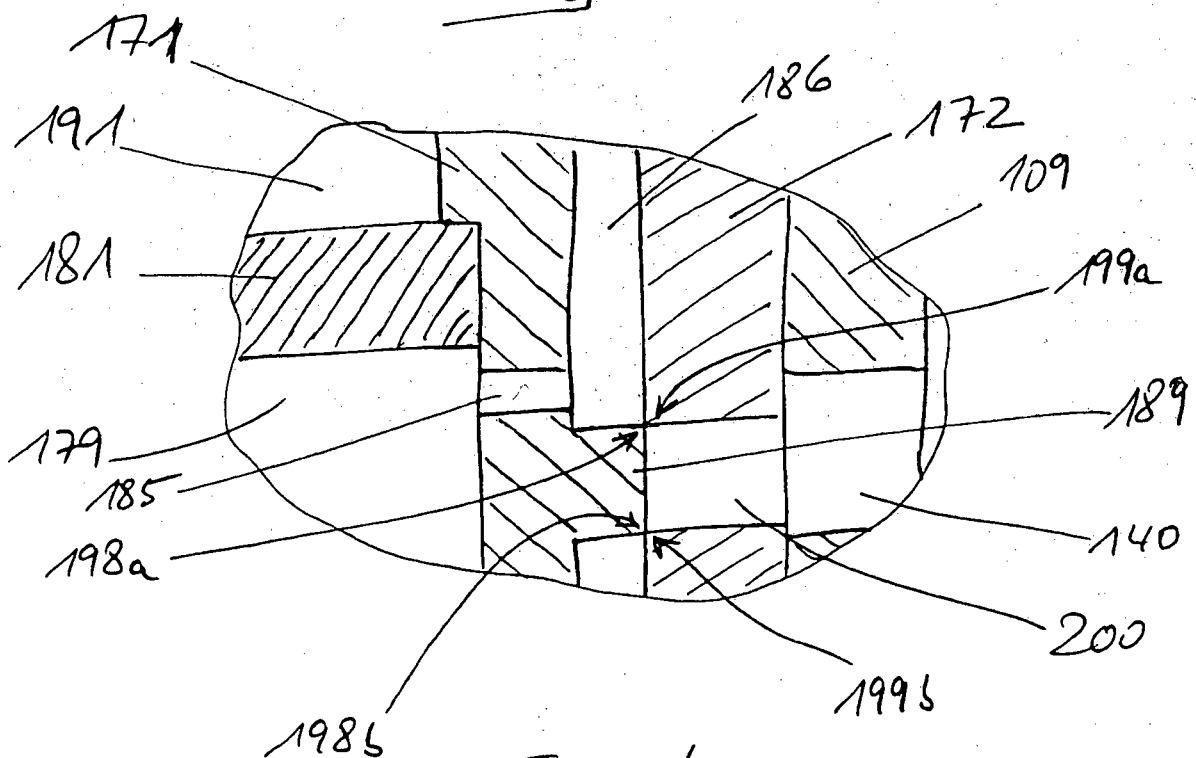


Fig. 4b

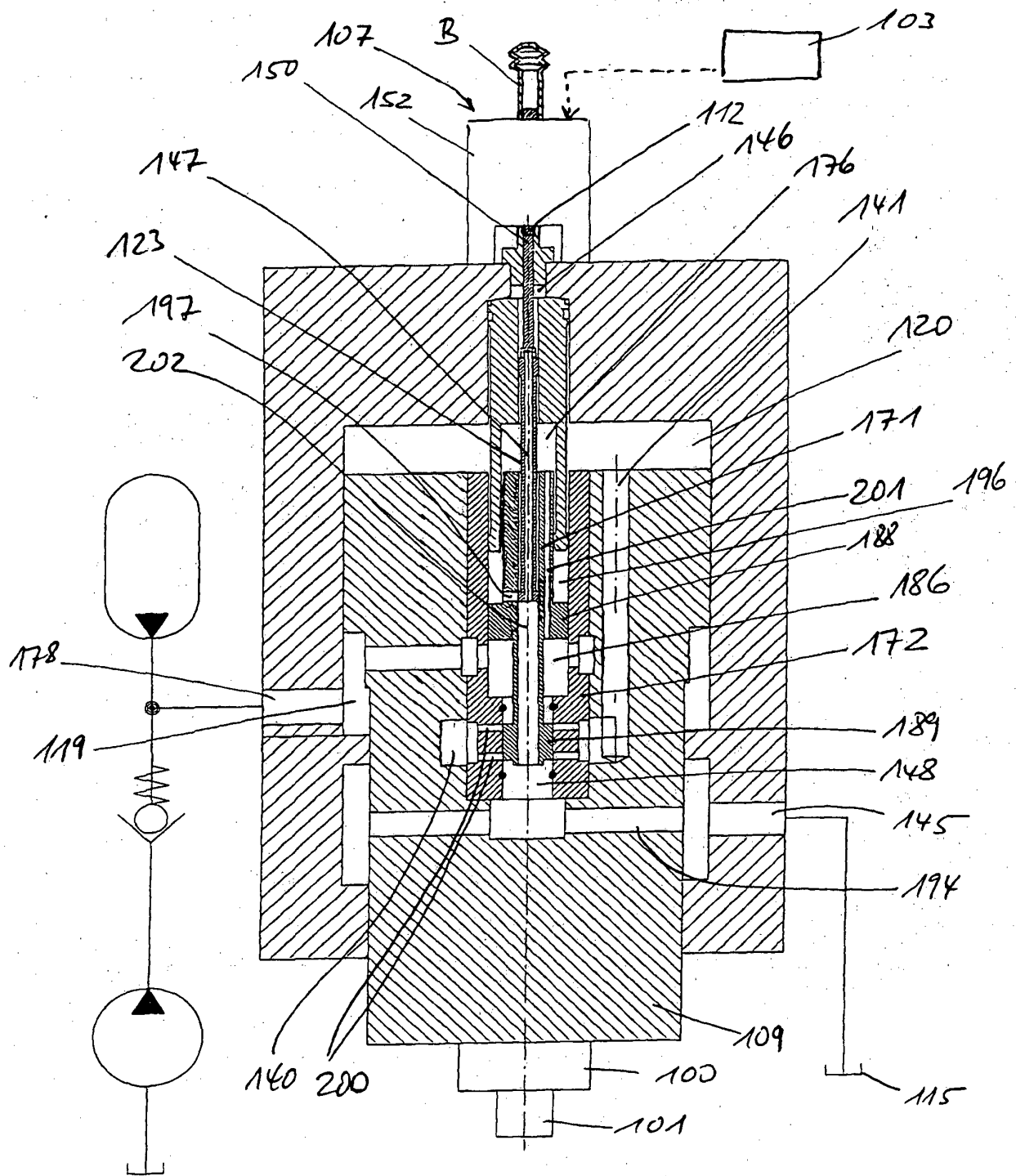


Fig. 5

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0296104 A1 [0002]
- DE 19757157 C2 [0002]
- US 4779837 A [0005]