

(19)



(11)

EP 2 601 416 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
15.04.2015 Patentblatt 2015/16

(51) Int Cl.:
F15B 21/08 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12728408.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2012/002598

(22) Anmeldetag: **20.06.2012**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2013/000549 (03.01.2013 Gazette 2013/01)

(54) **DRUCKMITTELSYSTEM, INSBESONDERE HYDRAULIKSYSTEM**

PRESSURE MEDIUM SYSTEM, IN PARTICULAR HYDRAULIC SYSTEM

SYSTÈME DE FLUIDE SOUS PRESSION, EN PARTICULIER SYSTÈME HYDRAULIQUE

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

(30) Priorität: **27.06.2011 DE 102011105584**
05.09.2011 DE 102011112701

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
12.06.2013 Patentblatt 2013/24

(73) Patentinhaber: **Ludwig Ehrhardt GmbH**
35321 Laubach (DE)

(72) Erfinder:
• **EHRHARDT, Winfried**
35321 Laubach (DE)
• **WESTERHAGEN, Georg**
63667 Nidda (DE)

(74) Vertreter: **Beier, Ralph**
V. Bezold & Partner
Patentanwälte
Akademiestraße 7
80799 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1-102005 002 443 US-A- 5 829 335
US-A1- 2004 098 984

EP 2 601 416 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 Erfindung betrifft ein Druckmittelsystem, insbesondere ein Hydrauliksystem einer Spannvorrichtung zum mechanischen Spannen von Werkstücken oder Werkstückhaltern, wie beispielsweise Werkstückpaletten.

[0002] Derartige Spannvorrichtungen mit einem Hydrauliksystem sind beispielsweise aus DE 31 36 177 A1 bekannt und enthalten eine Hydraulikpumpe, einen Drucksensor und ein Druckbegrenzungsventil sowie eine Steuereinheit.

[0003] Die Hydraulikpumpe erzeugt den zum Betrieb der Spannvorrichtung erforderlichen Hydraulikdruck, wobei die Hydraulikpumpe beispielsweise von einem Elektromotor angetrieben werden kann.

[0004] Das Druckbegrenzungsventil ist zwischen der Hydraulikpumpe und dem hydraulischen Verbraucher der Spannvorrichtung angeordnet und führt das Hydrauliköl beim Überschreiten eines vorgegebenen Maximalwerts in einen Hydrauliköltank zurück, um den Hydraulikdruck auf den zugelassenen Maximalwert zu begrenzen.

[0005] Diese Druckbegrenzung kann beispielsweise erforderlich sein, wenn die Hydraulikpumpe aufgrund einer Störung einen größeren Volumenstrom fördert als zur Aufrechterhaltung eines vorgegebenen Soll-Werts erforderlich ist.

[0006] Darüber hinaus kann diese Druckbegrenzung aber auch erforderlich sein, wenn sich das in dem Hydrauliksystem eingeschlossene Hydrauliköl aufgrund einer Erwärmung ausdehnt, was mit einem entsprechenden Druckanstieg verbunden ist.

[0007] Die Steuereinheit misst mittels des Drucksensors den von der Hydraulikpumpe erzeugten Hydraulikdruck und schaltet die Hydraulikpumpe ein, wenn der Hydraulikdruck einen vorgegebenen Mindestwert (Einschaltdruck) unterschreitet. Bei dem anschließenden Druckaufbau misst die Steuereinheit mittels des Drucksensors laufend den aktuellen Hydraulikdruck und schaltet die Hydraulikpumpe aus, wenn der von dem Drucksensor gemessene Hydraulikdruck den vorgegebenen Soll-Wert (Ausschaltdruck) überschreitet. Auf diese Weise wird der Hydraulikdruck im Betrieb des Spannsystems zwischen dem Mindestwert und dem Soll-Wert gehalten.

[0008] Die Figuren 5A bis 5D zeigen für ein solches herkömmliches Hydrauliksystem den zeitlichen Verlauf des Hydraulikdrucks (Figur 5A), des Ein- bzw. Ausschaltzustands der Hydraulikpumpe (Figur 5B), des Ein- bzw. Ausschaltzustands des Verbrauchers (Figur 5C) und des Ein- bzw. Ausschaltzustands des Druckbegrenzungsventils (Figur 5D).

[0009] Dieses bekannte Hydrauliksystem weist verschiedene Nachteile auf, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

[0010] Zum Einen muss ein Teil des von der Hydraulikpumpe geförderten Volumenstroms über das Druckbegrenzungsventil abgeführt werden, wenn der Hydraulikdruck den vorgegebenen Soll-Wert überschreitet. Diese Druckbegrenzung ist jedoch mit einer entsprechenden Verlustleistung des Druckbegrenzungsventils verbunden.

[0011] Zum Anderen wird die Hydraulikpumpe meist bei einem hohen Hydraulikdruck nahe dem Soll-Wert betrieben, was mit einer entsprechend hohen Belastung der Hydraulikpumpe und mit einem entsprechend hohen Energieaufwand verbunden ist.

[0012] Weiterhin besteht das Problem, dass die Hydraulikpumpe wieder eingeschaltet werden muss, wenn der Hydraulikdruck unter einen vorgegebenen Minimaldruck abgefallen ist. Problematisch hierbei ist die Tatsache, dass dieses sogenannte Nachschalten der Hydraulikpumpe nicht sofort zu einem Druckanstieg führt, was verschiedene Ursachen hat. Zum einen weist das Motorrelais der Hydraulikpumpe eine bestimmte Totzeit auf, wodurch sich das Anlaufen der Hydraulikpumpe verzögert. Darüber hinaus benötigt die Hydraulikpumpe aufgrund ihrer Massenträgheit eine bestimmte Anlaufzeit. Zum anderen weist aber auch der Hydraulikdruck in dem Hydrauliksystem eine Zeitkonstante auf und steigt nach dem Anlaufen der Hydraulikpumpe linear an. Diese zeitliche Verzögerung kann beim Nachschalten der Hydraulikpumpe dazu führen, dass der vorgegebene Minimaldruck unterschritten wird.

[0013] Aus DE 199 59 706 A1 und DE 10 2005 060 321 A1 sind Druckmittelsysteme für ein Kraftfahrzeugbremsystem bekannt, wobei ebenfalls das Phänomen auftritt, dass eine Hydraulikpumpe beim Ausschalten nicht sofort stehen bleibt, sondern einen Nachlauf aufweist. Der mögliche Druckanstieg während dieses Nachlaufs beim Ausschalten wird jedoch bei diesen Druckschriften dadurch kompensiert, dass die Steuerzeiten für nachgeschaltete Ventile entsprechend modifiziert werden. Hierbei wird also der Druckanstieg während des Nachlaufs nicht verhindert, sondern durch geeignete steuerungstechnische Maßnahmen kompensiert.

[0014] Ferner ist zum Stand der Technik aus anderen technischen Gebieten hinzuweisen auf DE 20 2008 011 507 U1, DE 697 15 709 T2 und DE 197 13 576 A1.

[0015] Schließlich ist zum Stand der Technik noch hinzuweisen auf DE 10 2005 002 443 A1, US 2004/0098984 A1 und US 005 829 335 A. Diese Druckschriften offenbaren jedoch lediglich eine herkömmliche Regelung einer Pumpe, indem beispielsweise die Förderleistung der Pumpe durch Ansteuerung der Pumpe mit einem einstellbaren Tastverhältnis variiert wird. Hierbei handelt es sich also um eine kontinuierliche Regelung im Gegensatz zu einem Einschalten bzw. Abschalten der Pumpe, wie es im Rahmen der Erfindung vorgesehen ist.

[0016] Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein entsprechend verbessertes Hydrauliksystem zu schaffen, das diese Nachteile möglichst weitgehend vermeidet.

[0017] Die Erfindung beruht auf der technischen Erkenntnis, dass die Fluidpumpe (z.B. Hydraulikpumpe) auch nach dem Abschalten ihres Antriebs noch einen trägheitsbedingten Nachlauf aufweist, so dass der Fluidruck (z.B. Hydraulik-

likdruck) auch noch nach dem Abschalten der Fluidpumpe während des Nachlaufs der Fluidpumpe etwas ansteigt.

[0018] Die Erfindung sieht deshalb vor, dass die Fluidpumpe beim Druckaufbau bereits abgeschaltet wird, bevor der Fluidruck den vorgegebenen Soll-Wert erreicht hat. Während des anschließenden Nachlaufs der Fluidpumpe steigt der Fluidruck dann noch von dem Abschalt-Druck mit einem bestimmten Nachlauf-Druckanstieg in Richtung des vorgegebenen Soll-Werts an. Die Erfindung nutzt also die kinetische Energie der Fluidpumpe, des Antriebs der Fluidpumpe und/oder der von der Fluidpumpe geförderten Flüssigkeitssäule aus.

[0019] Zum Einen bietet das den Vorteil, dass die Fluidpumpe weniger oft bei hohen Fluiddrücken nahe dem Soll-Wert betrieben wird, wodurch die Fluidpumpe geschont wird und weniger Antriebsenergie verbraucht.

[0020] Zum Anderen bietet die Erfindung aber auch den Vorteil, dass weniger Fluid (z.B. Hydrauliköl) über das Druckbegrenzungsventil abgeführt werden muss, wodurch das Druckbegrenzungsventil geschont wird und weniger Verlustleistung anfällt.

[0021] In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist der Abschalt-Druck so bemessen, dass die Druckdifferenz zwischen dem vorgegebenen Soll-Wert und dem Abschalt-Druck kleiner ist als der Nachlauf-Druckanstieg. Dies bedeutet, dass der Fluidruck nach dem Abschalten der Fluidpumpe zumindest noch bis auf den vorgegebenen Soll-Wert ansteigt. Der Nachlauf-Druckanstieg sollte also vorzugsweise hinreichend groß sein, um die Druckdifferenz zwischen dem Abschalt-Druck und dem Soll-Wert zu überbrücken.

[0022] Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Druckanstieg während des Nachlaufs der Fluidpumpe asymptotisch bis auf einen Endwert verläuft, so dass der Druckanstieg im oberen Druckbereich zu dem Endwert hin immer langsamer erfolgt. Es ist jedoch in der Regel wünschenswert, dass sich der vorgegebene Soll-Wert des Fluiddrucks während des Nachlaufs möglichst schnell einstellt. Vorzugsweise ist der Abschalt-Druck deshalb so bemessen, dass der Nachlauf-Druckanstieg die Druckdifferenz zwischen dem Abschalt-Druck und dem vorgegebenen Soll-Wert um mindestens 1%, 2%, 5%, 10%, 20%, 50%, 100% oder 200% übersteigt. Dies bietet den Vorteil, dass zur Überbrückung der Druckdifferenz zwischen dem Abschalt-Druck und dem vorgegebenen Soll-Wert der relativ steil verlaufende anfängliche Druckanstieg während des Nachlaufs ausgenutzt wird, so dass sich der vorgegebene Soll-Wert nach dem Abschalten der Fluidpumpe relativ schnell einstellt.

[0023] Andererseits ist es nicht nötig, dass der Fluidruck nach dem Abschalten der Fluidpumpe während des Nachlaufs noch wesentlich weiter ansteigt als bis auf den gewünschten Soll-Wert. Der Abschalt-Druck ist deshalb vorzugsweise so bemessen, dass der Nachlauf-Druckanstieg die Druckdifferenz zwischen dem Abschalt-Druck und dem vorgegebenen Soll-Wert um höchstens 200%, 100%, 50%, 20%, 10%, 5%, 2% oder 1% übersteigt. Dies bietet den Vorteil, dass während des Nachlaufs der Fluidpumpe nur wenig überschüssiges Fluid anfällt, das dann über das Druckbegrenzungsventil abgeführt werden muss.

[0024] Die vorstehend genannten prozentualen Werte sind möglich, wenn man bestimmte Faktoren bei der Berechnung verwendet. Allerdings ist die Erfindung nicht auf feste Werte festgelegt. Je nach Stabilität und Charakteristik des Hydrauliksystems gibt es verschiedene Werte. Vorzugsweise wird im Rahmen der Erfindung jedoch der kleinste mögliche Wert verwendet. Dies richtet sich nach der Güte der Berechnung, der Konstanz der Parameter des Hydrauliksystems und hier insbesondere nach der Steifheit des Systems, der Reaktionsgeschwindigkeit der Steuerung und des Antriebs. Wünschenswert sind Werte unter 5 %.

[0025] In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung erfolgt die Abschaltung und/oder die Anschaltung der Fluidpumpe bzw. des Antriebs der Fluidpumpe druckgesteuert. Dies bedeutet, dass die Steuereinheit mittels des Drucksensors den Fluidruck misst. Die Steuereinheit schaltet die Fluidpumpe dann beim Druckaufbau ab, wenn der gemessene Fluidruck den vorgegebenen Abschalt-Druck überschreitet. Darüber hinaus kann die Steuereinheit die Fluidpumpe wieder einschalten, wenn der gemessene Fluidruck den vorgegebenen Einschalt-Druck unterschreitet.

[0026] Bei der Festlegung des Abschalt-Drucks ist zu berücksichtigen, dass der Nachlauf-Druckanstieg nicht nur von der Trägheit der Fluidpumpe und ihres Antriebs abhängt, sondern auch von dem aktuell geförderten und abfließenden Förderstrom. Falls beispielsweise ein großer Förderstrom über den Verbraucher abfließt, so ist der Nachlauf-Druckanstieg nur sehr gering. Bei der Festlegung des Abschalt-Drucks wird deshalb vorzugsweise der aktuell abfließende Förderstrom der Fluidpumpe berücksichtigt.

[0027] Eine Möglichkeit zur Ermittlung des aktuellen Förderstroms der Fluidpumpe besteht darin, die Pumpendrehzahl der Fluidpumpe zu messen oder aus der Motorsteuerung abzuleiten, wobei der Förderstrom dann zumindest näherungsweise aus der Pumpendrehzahl abgeleitet werden kann.

[0028] Eine andere Möglichkeit zur Ermittlung des aktuellen Förderstroms der Fluidpumpe besteht in der Messung mittels eines Volumenstromsensors.

[0029] Eine weitere Möglichkeit sieht dagegen vor, dass der Förderstrom der Fluidpumpe als bekannt vorausgesetzt wird.

[0030] Die Trägheit des Systems aus Fluidpumpe und deren Antrieb spiegelt sich im Betrieb in der zeitlichen Druckänderung beim Druckaufbau wieder, d.h. in der ersten zeitlichen Ableitung des Fluiddrucks. So deutet ein schneller Druckanstieg während des Druckaufbaus auf eine entsprechend hohe Trägheit und einen hohen Nachlauf-Druckanstieg hin. Vorzugsweise wird deshalb die zeitliche Druckänderung beim Druckaufbau gemessen und als Maß für die Trägheit der

Fluidpumpe berücksichtigt.

[0031] Weiterhin ist zu erwähnen, dass der Abschaltdruck im Betrieb des erfindungsgemäßen Druckmittelsystems vorzugsweise dynamisch an den aktuellen Betriebszustand angepasst wird. Dies bedeutet, dass der Abschaltdruck laufend an den aktuellen Betriebszustand (z.B. Drehzahl, Fluiddruck, Druckanstieg, etc.) angepasst wird.

[0032] Bei dieser dynamischen Anpassung des Abschaltdruck werden vorzugsweise die folgenden Randbedingungen bzw. Optimierungsziele berücksichtigt:

- Während des Nachlaufs soll der Fluiddruck auf jeden Fall bis auf den vorgegebenen Soll-Wert ansteigen.
- Nach dem Abschalten der Fluidpumpe soll sich der vorgegebene Soll-Wert für den Fluiddruck möglichst schnell einstellen.
- Während des Nachlaufs soll möglichst wenig überschüssiges Fluid-gefördert werden, das zum Erreichen des Soll-Werts nicht erforderlich ist und über das Druckbegrenzungsventil abgeführt werden muss.

[0033] In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird der Abschaltdruck deshalb nach folgender Formel berechnet und während des Betriebs laufend angepasst:

$$P_{AUS} = P_{SOLL} - (K1/P_{SOLL} + K2) \cdot dP_{IST}/dt \cdot 1/Q$$

mit:

P_{AUS} : Abschaltdruck.

P_{SOLL} : Soll-Wert für den Fluiddruck.

$K1$: Geräteabhängige Konstante, die die Trägheit von Fluidpumpe und Antriebsmotor wiedergibt.

$K2$: Geräteabhängige Konstante, die Tot- und Verzögerungszeiten von Pumpe, Motor und Steuereinheit wiedergibt.

P_{IST} : Aktueller Fluiddruck.

dP_{IST}/dt : Zeitlicher Druckanstieg.

Q : Förderstrom der Fluidpumpe.

[0034] Die Erfindung ist jedoch hinsichtlich der Berechnung des Abschaltdrucks nicht auf die vorstehend genannte Formel beschränkt, sondern grundsätzlich auch mit anderen Formeln zur Berechnung des Abschaltdrucks realisierbar.

[0035] In einer Variante der Erfindung ist die Steuereinheit baulich in den Drucksensor integriert und erzeugt ein Abschaltsignal für die Motorsteuerung. Es ist aber alternativ auch möglich, dass die Steuereinheit baulich von dem Drucksensor getrennt ist und von dem Drucksensor ein Drucksignal als analoges Signal erhält.

[0036] Bei einem Verbraucher kann es notwendig sein, dass der Druck noch einmal nachgeschaltet wird, zum Beispiel, dass sich mit zeitlicher Verzögerung ein Nachsetzen ergibt oder ein kleines Leck auftritt oder dass durch eine starke Abkühlung der Druck sich etwas reduzieren kann. Ein derartiger Nachschaltedruck liegt typischerweise 5-10 % unter dem vorgegebenen Soll-Wert P_{SOLL} , aber über dem Abschaltdruck P_{AUS} . In diesem Fall darf nur eine ganz kleine Fördermenge in das System eingespeist werden und bedarf einer weiteren Ansteuerung, wenn nicht eine überschüssige Ölmenge über das Druckbegrenzungsventil abgelassen werden soll. Für diesen Fall wird die Einschaltedauer des Antriebsmotors der Fluidpumpe ("Druckmotor") so weit reduziert, dass nur die Drehzahl erreicht wird, um einen geringeren Druckaufbau durch Nachlauf zu erzielen. Dies geschieht durch eine Reduzierung der Konstante $K1$ des Fördervolumens Q und einer proportional dazu reduzierte Anlaufzeit des Pumpenmotorantriebs.

[0037] Die im Rahmen der Erfindung verwendeten Begriffe des Ein-bzw. Ausschaltens der Fluidpumpe stellen vorzugsweise darauf ab, dass der Antrieb der Fluidpumpe vollständig an- bzw. abgeschaltet wird. Die Erfindung beansprucht jedoch auch Schutz für Varianten, bei denen der Antrieb der Fluidpumpe lediglich hoch- oder heruntergefahren wird.

[0038] In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung handelt es sich bei dem Druckmittelsystem um ein Hydrauliksystem. Die Erfindung ist jedoch auch bei anderen Druckmittelsystemen realisierbar, wie beispielsweise bei Pneumatiksystemen. Entscheidend ist lediglich, dass die Fluidpumpe nach ihrem Abschalten noch einen trägheitsbedingten Nachlauf aufweist, während dessen der Fluiddruck noch ansteigt.

[0039] Weiterhin ist zu erwähnen, dass das erfindungsgemäße Druckmittelsystem vorzugsweise einen Verbraucher umfasst, der mit unter Druck stehendem Fluid versorgt wird. Bei dem Verbraucher handelt es sich vorzugsweise um ein Spannsystem zum mechanischen Spannen von Werkstücken oder Werkstückhaltern wie beispielsweise Werkstückpaletten. Derartige Spannsysteme sind an sich bekannt und beispielsweise in DE 31 36 177 A1 beschrieben, so dass der Inhalt dieser Veröffentlichung der vorliegenden Beschreibung in vollem Umfang zuzurechnen ist. Die Erfindung beansprucht jedoch auch Schutz für Druckmittelsysteme mit anderen Typen von Verbrauchern.

[0040] Ein anderer Aspekt der Erfindung befasst sich mit dem Problem, dass die Fluidpumpe beim Anschalten (Nachschalten) einen trägheitsbedingten Vorlauf aufweist, so dass der Fluiddruck während des Vorlaufs der Fluidpumpe noch nicht wesentlich ansteigt, obwohl die Fluidpumpe bereits angeschaltet ist. Die Gründe für diesen Vorlauf bestehen - wie schon eingangs kurz erläutert - zum einen in der Totzeit des Motorrelais der Fluidpumpe und zum anderen in dem verzögerten Druckaufbau in dem Druckmittelsystem.

[0041] Die Erfindung sieht deshalb vorzugsweise auch vor, dass die Steuereinheit beim Absinken des Fluiddrucks im ausgeschalteten Zustand der Fluidpumpe die Fluidpumpe bereits wieder einschaltet, bevor der Fluiddruck auf einen vorgegebenen Minimaldruck (z.B. 5% unter Soll-Druck) gefallen ist, der nicht unterschritten werden soll. Der Einschalt-
druck (Nachschalt-
druck) der Fluidpumpe ist also vorzugsweise größer als der vorgegebene Minimaldruck, der nicht unterschritten werden soll. Dies bietet den Vorteil, dass der möglicherweise auftretende weitere Druckabfall während des trägheitsbedingten Vorlaufs der Fluidpumpe nicht dazu führt, dass der vorgegebene Minimaldruck unterschritten wird.

[0042] In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung erfasst die Steuereinheit im ausgeschalteten Zustand der Fluidpumpe mittels eines Drucksensors die zeitliche Änderung des Fluiddrucks. Der Einschalt-
druck wird dann von der Steuereinheit vorzugsweise in Abhängigkeit von der zeitlichen Änderung des Fluiddrucks im abgeschalteten Zustand der Fluidpumpe, dem

[0043] Abschalt-
druck und dem vorgegebenen Minimaldruck berechnet, wobei die Berechnung nach folgender Formel erfolgen kann:

$$P_{\text{EIN}} = P_{\text{MIN}} - (k_1 + k_2 \cdot P_{\text{AUS}}) \cdot dP_{\text{IST}}/dt$$

mit:

k_1, k_2 : Konstanten, die den Druckverlauf während des Anlaufs der Fluidpumpe beim Nachschalten charakterisieren.
 P_{AUS} : Abschalt-
druck, der unter Berücksichtigung des Nachlaufs beim Hochfahren des Drucks dazu führt, dass der Drucksollwert P_{SOLL} erreicht wird.
 dP/dt : Zeitliche Änderung des Fluiddrucks nach Erreichen des Maximalwertes. Die Steigung ist hierbei negativ, so dass der Nachschalt-
druck P_{EIN} größer ist als der vorgegebene Minimaldruck P_{MIN} .

[0044] Der Einschalt-
druck (Nachschalt-
druck) ist also vorzugsweise so bemessen, dass der Fluiddruck nach dem Anschalten der Fluidpumpe während des Vorlaufs der Fluidpumpe nicht unter den vorgegebenen Minimaldruck abfällt.

[0045] Ferner ist zu erwähnen, dass die Erfindung auch ein entsprechendes Betriebsverfahren umfasst, wie sich bereits aus der vorstehenden Beschreibung ergibt.

[0046] Andere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet oder werden nachstehend zusammen mit der Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Hydrauliksystems zur Hydraulikversorgung einer Spannvorrichtung.

Figur 2 das Betriebsverfahren des Hydrauliksystems aus Figur 1 in Form eines Flussdiagramms.

Figur 3A den zeitlichen Verlauf des Hydraulikdrucks in dem Hydrauliksystem gemäß Figur 1.

Figur 3B den zeitlichen Verlauf des Ein- bzw. Ausschaltzustands der Hydraulikpumpe.

Figur 3C den zeitlichen Verlauf des Ein- bzw. Ausschaltzustands des Spannsystems.

Figur 3D eine vergrößerte Darstellung des Druckverlaufs während des Nachlaufs der Hydraulikpumpe.

Figur 4 eine Abwandlung des Hydrauliksystems gemäß Figur 1, wobei die Steuereinheit in den Drucksensor integriert ist.

Figur 5A den zeitlichen Verlauf des Hydraulikdrucks in einem herkömmlichen Hydrauliksystem.

Figur 5B den zeitlichen Verlauf des Ein- bzw. Ausschaltzustands der Hydraulikpumpe in dem herkömmlichen Hydrauliksystem.

- Figur 5C den zeitlichen Verlauf des Ein- bzw. Ausschaltzustands des Spannsystems in dem herkömmlichen Hydrauliksystem.
- Figur 5D den zeitlichen Verlauf des Ein- bzw. Ausschaltzustands des Druckbegrenzungsventils in dem herkömmlichen Hydrauliksystem,
- Figur 6 den zeitlichen Verlauf des Fluiddrucks in einem erfindungsgemäßen Druckmittelsystem, wobei der trägheitsbedingte Vorlauf der Hydraulikpumpe beim Nachschalten berücksichtigt wird, sowie
- Figur 7 ein Flussdiagramm zur Verdeutlichung des Nachschaltens der Hydraulikpumpe zur Berücksichtigung des trägheitsbedingten Vorlaufs der Hydraulikpumpe.

[0047] Figur 1 zeigt ein erfindungsgemäßes Hydrauliksystem mit einer Hydraulikpumpe 1, die von einem Elektromotor 2 angetrieben wird und ein mechanisches Spannsystem 3 mit dem zum Betrieb erforderlichen Hydraulikdruck versorgt.

[0048] Die Hydraulikpumpe 1 ist eingangsseitig mit einem Hydrauliköltank 4 verbunden, aus dem die Hydraulikpumpe 1 Hydrauliköl entnimmt und über ein Rückschlagventil RV in einen Hochdruckbereich 5 pumpt, an den das Spannsystem 3 angeschlossen ist.

[0049] Darüber hinaus weist das Hydrauliksystem ein Druckbegrenzungsventil 6 auf, das den Hochdruckbereich 5 mit dem Hydrauliköltank 4 verbindet. Das Druckbegrenzungsventil 6 ist im Normalzustand geschlossen und öffnet, wenn der aktuelle Hydraulikdruck P_{IST} in dem Hochdruckbereich 5 einen vorgegebenen Maximalwert P_{MAX} überschreitet.

[0050] Ferner weist das Hydrauliksystem einen Drucksensor 7 auf, der den aktuellen Hydraulikdruck P_{IST} in dem Hochdruckbereich 5 misst und an eine Steuereinheit 8 weiterleitet, die eine Motorsteuerung 9 in Abhängigkeit von dem gemessenen Hydraulikdruck P_{IST} ansteuert, wobei die Steuereinheit 8 den Elektromotor 2 wahlweise anschaltet oder abschaltet.

[0051] Bei der Ansteuerung des Elektromotors 2 berücksichtigt die Steuereinheit 8 auch den aktuellen Förderstrom Q der Hydraulikpumpe 1, da der aktuelle Förderstrom Q den Nachlauf-Druckanstieg beeinflusst. Hierzu ist die Steuereinheit 8 mit einem Drehzahlsensor 10 verbunden, der die Drehzahl n des Elektromotors 2 und damit auch die Pumpendrehzahl erfasst. Aus der Pumpendrehzahl n berechnet die Steuereinheit 8 dann den aktuellen Förderstrom Q der Hydraulikpumpe 1.

[0052] Darüber hinaus ist ein Druckreduzierventil 11 vorgesehen, dass zwischen der Hydraulikpumpe 1 und dem Rückschlagventil RV abzweigt und im geöffneten Zustand Hydrauliköl in den Hydrauliköltank 4 zurückführt, wobei das Druckreduzierventil 11 von der Steuereinheit 8 angesteuert wird. Die Steuereinheit 8 öffnet das Druckreduzierventil 11, wenn der Soll-Wert P_{SOLL} abgesenkt wird. Dies ist sinnvoll, damit der Hydraulikdruck P_{IST} möglichst schnell auf den neuen, geringeren Soll-Wert P_{SOLL} absinkt.

[0053] Die Steuereinheit 8 berechnet dann während des Betriebs laufend (vgl. Schritt S1 in Figur 2) einen Abschalt-Druck P_{AUS} nach folgender Formel:

$$P_{AUS} = P_{SOLL} - (K1/P_{SOLL} + K2) \cdot dP_{IST}/dt \cdot 1/Q$$

mit:

P_{AUS} Abschalt-Druck.

P_{SOLL} : Soll-Wert für den Fluiddruck.

$K1$: Geräteabhängige Konstante, die die Trägheit von Fluidpumpe und Antriebsmotor wiedergibt.

$K2$: Geräteabhängige Konstante, die Tot- und Verzögerungszeiten von Pumpe, Motor und Steuereinheit wiedergibt.

P_{IST} : Aktueller Fluiddruck.

dP_{IST}/dt : Zeitlicher Druckanstieg.

Q : Förderstrom der Fluidpumpe.

[0054] Die gerätespezifischen Konstanten $K1$, $K2$ können zuvor in einem Kalibrierungsverfahren ermittelt werden.

[0055] Im ausgeschalteten Zustand der Hydraulikpumpe misst die Steuereinheit 8 mittels des Drucksensors 7 laufend den Hydraulikdruck P_{IST} in dem Hochdruckbereich 5 (vgl. Schritt S2 in Figur 2).

[0056] Die Steuereinheit 8 prüft dann laufend, ob der gemessene Hydraulikdruck P_{IST} einen vorgegebenen Einschalt-Druck P_{EIN} unterschreitet (vgl. S3 in Figur 2).

[0057] Falls dies der Fall ist, so sendet die Steuereinheit 8 ein Einschalt-Signal an die Motorsteuerung 9, die darauf

hin den Elektromotor 2 einschaltet, um den Hydraulikdruck P_{IST} zu erhöhen (vgl. Schritt S4 in Figur 2).

[0058] Bei dem anschließenden Druckaufbau prüft die Steuereinheit 8 dann laufend, ob der aktuelle Hydraulikdruck P_{IST} den Abschaltdruck P_{AUS} überschreitet (vgl. Schritt S5).

[0059] Falls dies der Fall ist, so sendet die Steuereinheit 8 ein Abschaltsignal an die Motorsteuerung 9, die darauf hin den Elektromotor 2 abschaltet (vgl. Schritt S6).

[0060] Bei dem anschließenden trägheitsbedingten Nachlauf der Hydraulikpumpe 1 steigt der Hydraulikdruck P_{IST} trotz des ausgeschalteten Elektromotors 2 noch trägheitsbedingt an, wobei der Nachlauf-Druckanstieg $\Delta P_{NACHLAUF}$ (vgl. Figur 3D) ausreicht, um die Druckdifferenz ΔP zwischen dem Abschaltdruck P_{AUS} und dem vorgegebenen Soll-Wert P_{SOLL} zu überbrücken. Während des Nachlaufs steigt der Hydraulikdruck P_{IST} also von dem Abschaltdruck P_{AUS} bis auf den Soll-Wert P_{SOLL} an.

[0061] Während des Nachlaufs prüft das Druckbegrenzungsventil 6 laufend, ob der Hydraulikdruck P_{IST} einen vorgegebenen Maximalwert P_{MAX} übersteigt (vgl. Schritt S7 in Figur 2).

[0062] Falls dies der Fall ist, so öffnet das Druckbegrenzungsventil 6 automatisch und leitet das überschüssige Hydrauliköl aus dem Hochdruckbereich 5 in den Hydrauliköltank 4 zurück, um einen weiteren Druckanstieg über den Maximalwert P_{MAX} hinaus zu verhindern (vgl. Schritt S8 in Figur 2).

[0063] Darüber hinaus prüft das Druckbegrenzungsventil 6 laufend, ob der Hydraulikdruck P_{IST} unter den vorgegebenen Soll-Wert P_{SOLL} gefallen ist (vgl. Schritt S9 in Figur 2).

[0064] Falls dies der Fall sein sollte, so schließt das Druckbegrenzungsventil 6 selbsttätig, um ein weiteres Abfließen von Hydrauliköl aus dem Hochdruckbereich 5 in den Hydrauliköltank 4 zu verhindern, da der Hydraulikdruck P_{IST} dadurch noch weiter unter den vorgegebenen Soll-Wert P_{SOLL} abfallen würde (vgl. Schritt S10 in Figur 2).

[0065] Aus Figur 3D ist weiterhin ersichtlich, dass der ohne eine Druckbegrenzung maximal mögliche Nachlauf-Druckanstieg $\Delta P_{NACH-LAUF}$ größer ist als die zu überbrückende Druckdifferenz ΔP zwischen dem Abschaltdruck P_{AUS} und dem vorgegebenen Soll-Wert P_{SOLL} . Dies ist vorteilhaft, weil der Druckanstieg während des Nachlaufs dadurch relativ schnell erfolgt. Allerdings wird dieser Vorteil mit dem Nachteil erkauft, dass ein Teil des während des Nachlaufs geförderten Hydrauliköls über das Druckbegrenzungsventil 6 in den Hydrauliköltank 4 zurückgeführt werden muss.

[0066] Das Ausführungsbeispiel gemäß Figur 4 stimmt weitergehend mit dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 überein, so dass zur Vermeidung von Wiederholungen auf die vorstehende Beschreibung verwiesen wird, wobei für entsprechende Einzelheiten dieselben Bezugszeichen verwendet werden.

[0067] Eine Besonderheit dieses Ausführungsbeispiels besteht darin, dass die Steuereinheit 8 in einem gemeinsamen Gehäuse 11 mit dem Drucksensor 7 angeordnet ist.

[0068] Die Figuren 6 und 7 verdeutlichen einen Erfindungsaspekt, der auf das Problem des trägheitsbedingten zeitlichen Vorlaufs der Hydraulikpumpe 1 abstellt. So steigt der Hydraulikdruck P_{IST} nach dem Einschalten (Nachschalten) der Hydraulikpumpe 1 zum Zeitpunkt t_{EIN} nicht sofort wieder an, da der Druckanstieg durch die Totzeit des Motorrelais der Hydraulikpumpe 1 verzögert wird und auch der Druckanstieg selbst eine gewisse Vorlaufzeit benötigt. Die Erfindung sieht deshalb in diesem Aspekt vor, dass die Hydraulikpumpe 1 beim Nachschalten bereits wieder bei einem Einschalt-
druck P_{EIN} eingeschaltet wird, der über dem vorgegebenen Minimaldruck P_{MIN} liegt, damit der vorgegebene Minimaldruck P_{MIN} trotz des trägheitsbedingten Vorlaufs der Hydraulikpumpe 1 nicht unterschritten wird.

[0069] In einem ersten Schritt S1 werden hierzu gerätespezifische Konstanten K_1 , K_2 ermittelt, die den Druckanstieg nach dem Anschalten der Hydraulikpumpe 1 während des Vorlaufs der Hydraulikpumpe 1 kennzeichnen.

[0070] In einem weiteren Schritt S2 wird der Minimaldruck P_{MIN} vorgegeben, der nicht unterschritten werden soll.

[0071] Darüber hinaus wird in einem Schritt S3 der Abschaltdruck P_{AUS} berechnet, der beim Hochfahren des Fluid-
drucks P_{IST} zu einem Abschalten der Hydraulikpumpe 1 führt. Die Berechnung des Abschalt-
drucks P_{AUS} wurde bereits vorstehend ausführlich erläutert, so dass diesbezüglich zur Vermeidung von Wiederholungen auf die vorstehenden Ausführungen verwiesen wird.

[0072] In einer Schleife wird zunächst in einem Schritt S4 der Fluidruck P_{IST} gemessen.

[0073] Darüber hinaus wird in der Schleife dann in einem Schritt S5 die zeitliche Änderung dP_{IST}/dt des Fluid-
drucks P_{IST} berechnet.

[0074] In einem weiteren Schritt S6 wird dann nach folgender Formel der Anschalt-
druck P_{EIN} berechnet:

$$P_{EIN} = P_{MIN} - (k_1 + k_2 \cdot P_{AUS}) \cdot dP_{IST}/dt.$$

[0075] In einem Schritt S7 wird dann in der Schleife geprüft, ob der gemessene Fluidruck P_{IST} den berechneten Anschalt-
druck P_{EIN} unterschreitet. Falls dies der Fall ist, so wird die Hydraulikpumpe 1 in einem Schritt S8 eingeschaltet. Andernfalls werden die vorstehend genannten Schritte S4-S7 in einer Schleife wiederholt.

[0076] Auf diese Weise wird sichergestellt, dass der Fluidruck P_{IST} trotz des trägheitsbedingten Vorlaufs der Hydraulikpumpe 1 nicht unter den vorgegebenen Minimaldruck P_{MIN} abfällt, der nicht unterschritten werden soll.

[0077] Das Nachschalten in der vorgeschlagenen Weise ist vorteilhaft, weil wieder die kinetische Energie der Pumpen-Motor-Einheit ausgenutzt wird und sich kein wesentlich höherer Druck als der Soll-Druck einstellt. Somit kann mit einer derartigen Einrichtung ein Druckwert eingestellt werden, ohne dass zuviel Ölvolumen durch die Pumpe gefördert wurde, welches über ein Begrenzungsventil wieder abgeführt werden muss.

[0078] In Kombination mit dem erfindungsgemäßen Abschalten der Pumpe bereits vor Erreichen des Soll-Werts P_{SOLL} ergibt sich ein Druckeinstellsystem, bei dem das Druckbegrenzungsventil 6 nur noch der Sicherheit dient. Die Druckeinstellung wird durch die Veränderung des Soll-Wertes P_{SOLL} vorgenommen.

[0079] Durch die Verwendung des Abschalt-Drucks P_{AUS} aus dem erstmaligen Druckanstieg wird etwas mehr Energie in das Hydrauliksystem gegeben, da der Druck nur im System aus der Hydraulikpumpe 1 und dem Druckrohr aufgebaut werden muss und erst nach dem Öffnen des Rückschlagventils RV das gesamte Hydrauliksystem angeschlossen ist.

[0080] Die Erfindung ist nicht auf die vorstehend beschriebenen bevorzugten Ausführungsbeispiele beschränkt. Vielmehr ist eine Vielzahl von Varianten und Abwandlungen möglich, die ebenfalls von dem Erfindungsgedanken Gebrauch machen und deshalb in den Schutzbereich fallen. Darüber hinaus beansprucht die Erfindung auch Schutz für den Gegenstand und die Merkmale der Unteransprüche unabhängig von den in Bezug genommenen Ansprüchen.

Bezugszeichenliste:

[0081]

1	Hydraulikpumpe
2	Elektromotor
3	Spannsystem
4	Hydrauliköltank
5	Hochdruckbereich
6	Druckbegrenzungsventil
7	Drucksensor
8	Steuereinheit
9	Motorsteuerung
10	Drehzahlsensor
11	Druckreduzierventil
k1, k2	Konstanten, die den Druckverlauf während des Anlaufs der Fluidpumpe beim Nachschalten charakterisieren
K1	Geräteabhängige Konstante, die die Trägheit von Fluidpumpe und Antriebsmotor wiedergibt
K2	Geräteabhängige Konstante, die Tot- und Verzögerungszeiten von Pumpe, Motor und Steuereinheit wiedergibt
n	Drehzahl des Elektromotors
P_{AUS}	Abschalt-Druck
P_{EIN}	Einschalt-Druck
P_{IST}	Hydraulik-Druck
P_{MIN}	Minimal
P_{MAX}	Maximal-Druck
P_{SOLL}	Soll-Wert
ΔP	Druckdifferenz zwischen Abschalt-Druck und Soll-Wert
$\Delta P_{NACHLAUF}$	Nachlauf-Druckanstieg
RV	Rückschlagventil
Q	Förderstrom der Hydraulikpumpe
dP_{IST}/dt	zeitliche Änderung des Hydraulikdrucks

Patentansprüche

1. Druckmittelsystem, insbesondere Hydrauliksystem, mit

- einer Fluidpumpe (1) zum Fördern eines Antriebsfluids mit einem bestimmten Förderstrom (Q) und einem bestimmten Fluid-Druck (P_{IST}),
- einer Steuereinheit (8), welche die Fluidpumpe (1) anschaltet oder abschaltet, um einen vorgegebenen Soll-Wert (P_{SOLL}) des Fluid-Drucks (P_{IST}) einzustellen,
- wobei die Fluidpumpe (1) beim Abschalten einen trägheitsbedingten Nachlauf aufweist, so dass der Fluid-Druck

während des Nachlaufs der Fluidpumpe (1) noch ansteigt, während die Fluidpumpe (1) bereits abgeschaltet ist,
d) während die Fluidpumpe (1) beim Anschalten einen trägheitsbedingten Vorlauf aufweist, so dass der Fluid-
druck (P_{IST}) während des Vorlaufs der Fluidpumpe (1) noch nicht wesentlich ansteigt, obwohl die Fluidpumpe
(1) bereits angeschaltet ist,

dadurch gekennzeichnet,

e) **dass** die Steuereinheit (8) beim Erhöhen des Fluiddrucks (P_{IST}) auf den vorgegebenen Soll-Wert (P_{SOLL})
die Fluidpumpe (1) abschaltet bevor der Fluiddruck (P_{IST}) den vorgegebenen Soll-Wert (P_{SOLL}) erreicht hat,
und/oder

f) **dass** die Steuereinheit (8) beim Absinken des Fluiddrucks (P_{IST}) im ausgeschalteten Zustand der Fluidpumpe
(1) die Fluidpumpe (1) wieder einschaltet bevor der Fluiddruck (P_{IST}) auf einen vorgegebenen Minimaldruck
(P_{MIN}) gefallen ist

2. Druckmittelsystem nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

a) **dass** der Fluiddruck (P_{IST}) während des Nachlaufs nach dem Abschalten der Fluidpumpe (1) ohne eine
Druckbegrenzung noch um einen bestimmten maximal möglichen Nachlauf-Druckanstieg ($\Delta P_{NACHLAUF}$) an-
steigt, und

b) **dass** die Steuereinheit (8) die Fluidpumpe (1) abschaltet, wenn der Fluiddruck (P_{IST}) einen bestimmten
Abschaltdruck (P_{AUS}) übersteigt.

3. Druckmittelsystem nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet,

a) **dass** die Druckdifferenz (ΔP) zwischen dem vorgegebenen Soll-Wert (P_{SOLL}) des Fluiddrucks (P_{IST}) und
dem Abschaltdruck (P_{AUS}) kleiner ist als der maximal mögliche Nachlauf-Druckanstieg ($\Delta P_{NACHLAUF}$), so dass
der Fluiddruck (P_{IST}) während des Nachlaufs noch zumindest bis auf den vorgegebenen Soll-Wert (P_{SOLL})
ansteigt, und/oder

b) **dass** der maximal mögliche Nachlauf-Druckanstieg ($\Delta P_{NACHLAUF}$) die Druckdifferenz (ΔP) zwischen dem
vorgegebenen Soll-Wert (P_{SOLL}) des Fluiddrucks (P_{IST}) und dem Abschaltdruck (P_{AUS}) um mindestens 10%,
20%, 50%, 100% oder 200% übersteigt, und/oder

c) **dass** der maximal mögliche Nachlauf-Druckanstieg ($\Delta P_{NACHLAUF}$) die Druckdifferenz (ΔP) zwischen dem
vorgegebenen Soll-Wert (P_{SOLL}) des Fluiddrucks (P_{IST}) und dem Abschaltdruck (P_{AUS}) um höchstens 200%,
100%, 50%, 20% oder 10% übersteigt.

4. Druckmittelsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**

a) **dass** ein Drucksensor (7) vorgesehen ist, der den Fluiddruck (P_{IST}) misst und den gemessenen Fluiddruck
(P_{IST}) an die Steuereinheit (8) weiterleitet, und

b) **dass** die Steuereinheit (8) die Fluidpumpe (1) in Abhängigkeit von dem gemessenen Fluiddruck (P_{IST}) ab-
schaltet und/oder

c) **dass** die Steuereinheit (8) die Fluidpumpe (1) in Abhängigkeit von dem gemessenen Fluiddruck (P_{IST}) an-
schaltet, und/oder

d) **dass** Steuereinheit (8) die Fluidpumpe (1) abschaltet, wenn der gemessene Fluiddruck (P_{IST}) einen bestimm-
ten Abschaltdruck (P_{AUS}) übersteigt, und/oder

e) **dass** Steuereinheit (8) die Fluidpumpe (1) einschaltet, wenn der gemessene Fluiddruck (P_{IST}) einen be-
stimmten Einschaltdruck (P_{EIN}) unterschreitet.

5. Druckmittelsystem nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet,

a) **dass** die Steuereinheit (8) den Förderstrom (Q) der Fluidpumpe (1) ermittelt,

b) **dass** die Steuereinheit (8) den Abschaltdruck (P_{AUS}) in Abhängigkeit von dem Förderstrom (Q) der Fluidpumpe
(1) und dem vorgegebenen Soll-Wert (P_{SOLL}) des Fluiddrucks (P_{IST}) ermittelt.

6. Druckmittelsystem nach Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet,

- a) **dass** die Fluidpumpe (1) durch einen Antriebsmotor (2), insbesondere einen elektrischen Antriebsmotor (2), mit einer bestimmten Drehzahl angetrieben wird, und
- b) **dass** die Steuereinheit (8) den Förderstrom der Fluidpumpe (1) aus der Drehzahl der Antriebspumpe berechnet.

7. Druckmittelsystem nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinheit (8) den Abschaltdruck während des Betriebs dynamisch anpasst, insbesondere in Abhängigkeit von mindestens einer folgenden Größen:

- dem Förderstrom (Q) der Fluidpumpe (1),
- dem vorgegebenen Soll-Wert (P_{SOLL}) für den Fluiddruck (P_{IST}),
- dem zeitlichen Druckanstieg (dP/dt) des Fluiddrucks (P_{IST}).

8. Druckmittelsystem nach einem der Ansprüche 3 bis 7, **dadurch gekennzeichnet,**

- a) **dass** die Fluidpumpe (1) von einem Antriebsmotor (2) angetrieben wird, insbesondere von einem elektrischen Antriebsmotor (2),
- b) **dass** der Antriebsmotor (2) von einer Motorsteuerung angesteuert wird,
- c) **dass** die Steuereinheit (8) zum Abschalten der Fluidpumpe (1) ein Abschaltsignal an die Motorsteuerung überträgt.

9. Druckmittelsystem nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet,**

- a) **dass** die Steuereinheit (8) baulich in den Drucksensor (7) integriert ist, oder
- b) **dass** die Steuereinheit (8) baulich von dem Drucksensor (7) getrennt ist.

10. Druckmittelsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**

- a) **dass** das Antriebsfluid eine Hydraulikflüssigkeit ist, insbesondere ein Hydrauliköl, und dass die Fluidpumpe (1) eine Hydraulikpumpe ist, und/oder
- b) **dass** die Fluidpumpe (1) einen Verbraucher (3) mit dem Antriebsfluid versorgt, und/oder
- c) **dass** der Verbraucher (3) ein mechanisches Spannsystem (3) ist, das ein Werkstück oder einen Werkstückhalter lösbar festspannt.

11. Druckmittelsystem nach Anspruch 4 und Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet,**

- a) **dass** die Steuereinheit (8) im ausgeschalteten Zustand der Fluidpumpe (1) mittels des Drucksensors (7) die zeitliche Änderung (dp/dt) des Fluiddrucks (P_{IST}) ermittelt, und
- b) **dass** die Steuereinheit (8) den Einschaltdruck (P_{EIN}) in Abhängigkeit von mindestens einer der folgenden Größen bestimmt:
 - der zeitlichen Änderung (dP_{IST}/dt) des Fluiddrucks (P_{IST}) im abgeschalteten Zustand der Fluidpumpe (1),
 - dem Abschaltdruck (P_{AUS}),
 - dem vorgegebenen Minimaldruck (P_{MIN}).

12. Druckmittelsystem nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet,**

- a) **dass** der Einschaltdruck (P_{EIN}) größer ist als der vorgegebene Minimaldruck (P_{MIN})? und/oder
- b) **dass** der Einschaltdruck (P_{EIN}) vorzugsweise so bemessen ist, dass der Fluiddruck (P_{IST}) nach dem Anschalten der Fluidpumpe (1) während des Vorlaufs der Fluidpumpe (1) nicht unter den vorgegebenen Minimaldruck (P_{MIN}) abfällt.

13. Betriebsverfahren für ein Druckmittelsystem mit

- a) einer Fluidpumpe (1) zum Fördern eines Antriebsfluids mit einem bestimmten Förderstrom (Q) und einem bestimmten Fluiddruck (P_{IST}),

- b) einer Steuereinheit (8), welche die Fluidpumpe (1) anschaltet oder abschaltet, um einen vorgegebenen Soll-Wert (P_{SOLL}) des Fluiddrucks (P_{IST}) einzustellen,
- c) wobei die Fluidpumpe (1) beim Abschalten einen trägheitsbedingten Nachlauf aufweist, so dass der Fluiddruck während des Nachlaufs der Fluidpumpe (1) noch ansteigt, während die Fluidpumpe (1) bereits abgeschaltet ist,
- d) während die Fluidpumpe (1) beim Anschalten einen trägheitsbedingten Vorlauf aufweist, so dass der Fluiddruck (P_{IST}) während des Vorlaufs der Fluidpumpe (1) noch nicht wesentlich ansteigt, obwohl die Fluidpumpe (1) bereits angeschaltet ist,
- dadurch gekennzeichnet,**
- e) **dass** die Steuereinheit (8) beim Erhöhen des Fluiddrucks (P_{IST}) auf den vorgegebenen Soll-Wert (P_{SOLL}) die Fluidpumpe (1) abschaltet bevor der Fluiddruck (P_{IST}) den vorgegebenen Soll-Wert (P_{SOLL}) erreicht hat, und/oder
- f) **dass** die Steuereinheit (8) beim Absinken des Fluiddrucks (P_{IST}) im ausgeschalteten Zustand der Fluidpumpe (1) die Fluidpumpe (1) wieder einschaltet bevor der Fluiddruck (P_{IST}) auf einen vorgegebenen Minimaldruck (P_{MIN}) gefallen ist.

Claims

1. A pressure means system, in particular a hydraulic system, with

- a) a fluid pump (1) for conveying a drive fluid with a certain discharge flow (Q) and a certain fluid pressure (P_{IST}),
- b) a control unit (8), which switches the fluid pump (1) on or off to adjust a predefined target value (P_{SOLL}) of the fluid pressure (P_{IST}),
- c) wherein the fluid pump (1) has an inertia-induced overrun during shut-off, so that the fluid pressure still rises during the overrun of the fluid pump (1), while the fluid pump (1) is already switched off,
- d) while the fluid pump (1) has an inertia-induced pre-run during switching-on, so that the fluid pressure does not yet substantially rises during the pre-run of the fluid pump (1), while the fluid pump (1) is already switched on,
- characterized in**
- e) **that** the control unit (8) switches off the fluid pump (1) when increasing the fluid pressure (P_{IST}) to the predefined target value (P_{SOLL}) before the fluid pressure (P_{IST}) has reached the target value (P_{SOLL}), and/or
- f) **that** the control unit (8) switches on the fluid pump (1) again at the drop of fluid pressure (P_{IST}) when the fluid pump (1) is switched off before the fluid pressure (P_{IST}) has fallen to a predefined minimum pressure (P_{MIN}).

2. The pressure means system according to claim 1, **characterized in that**

- a) the fluid pressure (P_{IST}) still rises during the overrun after switching off of the fluid pump (1) without any pressure limitation by a certain maximum possible overrun pressure rise ($\Delta P_{NACHLAUF}$), and
- b) the control unit (8) switches off the fluid pump (1) when the fluid pressure (P_{IST}) exceeds a certain switch-off pressure (P_{AUS}).

3. The pressure means system according to claim 2, **characterized in that**

- a) the pressure difference (ΔP) between the predefined target value (P_{SOLL}) of the fluid pressure (P_{IST}) and the switch-off pressure (P_{AUS}) is smaller than the maximum possible overrun pressure rise ($\Delta P_{NACHLAUF}$), so that the fluid pressure (P_{IST}) during the overrun still rises at least up to the predefined target value (P_{SOLL}), and/or
- b) the maximum possible overrun pressure rise ($\Delta P_{NACHLAUF}$) exceeds the pressure difference (ΔP) between the predefined target value (P_{SOLL}) of the fluid pressure (P_{IST}) and the switch-off pressure (P_{AUS}) by at least 10%, 20%, 50%, 100% or 200%, and/or
- c) the maximum possible overrun pressure rise ($\Delta P_{NACHLAUF}$) exceeds the pressure difference (ΔP) between the predefined target value (P_{SOLL}) of the fluid pressure (P_{IST}) and the switch-off pressure (P_{AUS}) by at most 200%, 100%, 50%, 20% or 10%.

4. The pressure means system according to any one of the preceding claims, **characterized in that**

- a) a pressure sensor (7) is provided, which measures the fluid pressure (P_{IST}) and forwards the measured fluid pressure (P_{IST}) to the control unit (8), and
- b) the control unit (8) switches off the fluid pump (1) depending on the measured fluid pressure (P_{IST}) and/or
- c) the control unit (8) switches on the fluid pump (1) depending on the measured fluid pressure (P_{IST}) and/or

- d) the control unit (8) switches off the fluid pump (1) when the measured fluid pressure (P_{IST}) exceeds a certain switch-off pressure (P_{AUS}), and/or
 e) the control unit (8) switches on the fluid pump (1) when the measured fluid pressure (P_{IST}) falls below a certain switch-on pressure (P_{EIN}).

5. The pressure means system according to claim 4, **characterized in that**

- a) the control unit (8) determines the discharge flow (Q) of the fluid pump (1),
 b) the control unit (8) determines the switch-off pressure (P_{AUS}) depending on the discharge flow (Q) of the fluid pump (1) and the predefined target value (P_{SOLL}) of the fluid pressure (P_{IST}).

6. The pressure means system according to claim 5, **characterized in that**

- a) the fluid pump (1) is driven by a drive motor (2), in particular an electric drive motor (2), with a certain rotational speed, and
 b) the control unit (8) calculates the discharge flow of the fluid pump (1) from the rotational speed of the drive pump.

7. The pressure means system according to any one of the claims 4 to 6, **characterized in that** the control unit (8) adapts the switch-off pressure dynamically during operation, in particular depending on at least one of the following values:

- the discharge flow (Q) of the fluid pump (1),
- the predefined target value (P_{SOLL}) for the fluid pressure (P_{IST}),
- the temporal pressure rise (dP/dt) of the fluid pressure (P_{IST}).

8. The pressure means system according to any one of the claims 3 to 7, **characterized in that**

- a) the fluid pump (1) is driven by a drive motor (2), in particular by an electric drive motor (2),
 b) the drive motor (2) is controlled by a motor control unit,
 c) the control unit (8) transmits a switch-off signal to the motor control unit for switching off the fluid pump (1).

9. The pressure means system according to claim 8, **characterized in that**

- a) the control unit (8) is constructionally integrated into the pressure sensor (7), or
 b) the control unit (8) is constructionally separate from the pressure sensor (7).

10. The pressure means system according to any one of the preceding claims, **characterized in that**

- a) the drive fluid is a hydraulic fluid, in particular a hydraulic oil, and that the fluid pump (1) is a hydraulic pump, and/or
 b) the fluid pump (1) supplies a consumer (3) with the drive fluid, and/or
 c) the consumer (3) is a mechanical clamping system (3), which clamps a workpiece or a workpiece holder detachably.

11. The pressure means system according to claim 4 and claim 10, **characterized in that**

- a) the control unit (8) determines the temporal change (dp/dt) of the fluid pressure (P_{IST}) when the fluid pump (1) is in the switched-off state, by means of the pressure sensor (7), and
 b) the control unit (8) determines the switch-on pressure (P_{EIN}) depending on at least one of the following values:

- the temporal change (dP_{IST}/dt) of the fluid pressure (P_{IST}) when the fluid pump (1) is in the switched-off state,
- the switch-off pressure (P_{AUS}),
- the predefined minimum pressure (P_{MIN}).

12. The pressure means system according to claim 11, **characterized in that**

- a) the switch-on pressure (P_{EIN}) is greater than the predefined minimum pressure (P_{MIN}), and/or
 b) the switch-on pressure (P_{EIN}) is preferably dimensioned such that the fluid pressure (P_{IST}) after switching

on the fluid pump (1) does not fall below the predefined minimum pressure (P_{MIN}) during the pre-run of the fluid pump (1).

13. An operating method for a pressure means system having

- a) a fluid pump (1) for conveying a drive fluid with a certain discharge flow (Q) and a certain fluid pressure (P_{IST}),
- b) a control unit (8), which switches the fluid pump (1) on or off to adjust a predefined target value (P_{SOLL}) of the fluid pressure (P_{IST}),
- c) wherein the fluid pump (1) has an inertia-induced overrun during shut-off, so that the fluid pressure still rises during the overrun of the fluid pump (1), while the fluid pump (1) is already switched off,
- d) while the fluid pump (1) has an inertia-induced pre-run during switching-on, so that the fluid pressure does not yet rise substantially during the pre-run of the fluid pump (1), although the fluid pump (1) is already switched on, **characterized in**
- e) **that** the control unit (8) switches off the fluid pump (1) when increasing the fluid pressure (P_{IST}) to the predefined target value (P_{SOLL}) before the fluid pressure (P_{IST}) has reached the target value (P_{SOLL}), and/or
- f) **that** the control unit (8) switches on the fluid pump (1) again at the drop of fluid pressure (P_{IST}) when the fluid pump (1) is switched off before the fluid pressure (P_{IST}) has fallen to a predefined minimum pressure (P_{MIN}).

Revendications

1. Système de fluide sous pression, en particulier système hydraulique, comprenant

- a) une pompe à fluide (1) servant à refouler un fluide d'entraînement à l'aide d'un flux de refoulement (Q) défini et d'une pression de fluide (P_{RELLE}) définie,
- b) une unité de commande (8), qui met en service ou arrête la pompe à fluide (1) afin de régler une valeur théorique ($P_{\text{THEORIQUE}}$) spécifiée de la pression de fluide (P_{RELLE}),
- c) sachant que la pompe à fluide (1) présente, lors de l'arrêt, une marche à vide liée à l'inertie de sorte que la pression de fluide continue d'augmenter au cours de la marche à vide de la pompe à fluide (1) tandis que la pompe à fluide (1) est déjà arrêtée,
- d) sachant que la pompe à fluide (1) présente, lors de la mise en service, une amorce liée à l'inertie de sorte que la pression de fluide (P_{RELLE}) n'augmente pas encore de manière considérable au cours de l'amorce de la pompe à fluide (1) bien que la pompe à fluide (1) soit déjà mise en service, **caractérisé en ce**
- e) **que** l'unité de commande (8) arrête, en cas d'élévation de la pression de fluide (P_{RELLE}) pour s'établir à la valeur théorique ($P_{\text{THEORIQUE}}$) spécifiée, la pompe à fluide (1) avant que la pression de fluide (P_{RELLE}) n'ait atteint la valeur théorique ($P_{\text{THEORIQUE}}$) spécifiée, et/ou
- f) **que** l'unité de commande (8) actionne à nouveau la pompe à fluide (1) en cas de baisse de la pression de fluide (P_{RELLE}) lorsque la pompe à fluide (1) est à l'arrêt avant que la pression de fluide (P_{RELLE}) ne tombe à une pression minimale (P_{MIN}) spécifiée.

2. Système de fluide sous pression selon la revendication 1, **caractérisé en ce**

- a) **que** la pression de fluide (P_{RELLE}) continue d'augmenter d'une hausse de pression de marche à vide ($\Delta P_{\text{MARCHE A VIDE}}$) définie maximale possible au cours de la marche à vide après l'arrêt de la pompe à fluide (1) sans limitation de pression, et
- b) **que** l'unité de commande (8) arrête la pompe à fluide (1) lorsque la pression de fluide (P_{RELLE}) dépasse une pression d'arrêt (P_{OFF}) définie.

3. Système de fluide sous pression selon la revendication 2, **caractérisé en ce**

- a) **que** la différence de pression (ΔP) entre la valeur théorique ($P_{\text{THEORIQUE}}$) spécifiée de la pression de fluide (P_{RELLE}) et la pression d'arrêt (P_{OFF}) est inférieure à la hausse de pression de marche à vide ($\Delta P_{\text{MARCHE A VIDE}}$) maximale possible de sorte que la pression de fluide (P_{RELLE}) continue d'augmenter au moins jusqu'à la valeur théorique ($P_{\text{THEORIQUE}}$) spécifiée au cours de la marche à vide, et/ou
- b) **que** la hausse de pression de marche à vide ($\Delta P_{\text{MARCHE A VIDE}}$) maximale possible dépasse la différence de

pression (ΔP) entre la valeur théorique ($P_{THEORIQUE}$) spécifiée de la pression de fluide (P_{RELLE}) et la pression d'arrêt (P_{OFF}) d'au moins 10%, 20%, 50%, 100% ou 200%, et/ou

c) **que** la hausse de pression de marche à vide ($\Delta P_{MARCHE \text{ A VIDE}}$) maximale possible dépasse la différence de pression (ΔP) entre la valeur théorique ($P_{THEORIQUE}$) spécifiée de la pression de fluide (P_{RELLE}) et la pression d'arrêt (P_{OFF}) au maximum de 200%, 100%, 50%, 20% ou 10%.

4. Système de fluide sous pression selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce**

a) **qu'**un capteur de pression (7) est prévu, lequel mesure la pression de fluide (P_{RELLE}) et transfère la pression de fluide (P_{RELLE}) mesurée à l'unité de commande (8), et

b) **que** l'unité de commande (8) arrête la pompe à fluide (1) en fonction de la pression de fluide (P_{RELLE}) mesurée, et/ou

c) **que** l'unité de commande (8) met en service la pompe à fluide (1) en fonction de la pression de fluide (P_{RELLE}) mesurée, et/ou

d) **que** l'unité de commande (8) arrête la pompe à fluide (1) lorsque la pression de fluide (P_{RELLE}) mesurée dépasse une pression d'arrêt (P_{OFF}) définie, et/ou

e) **que** l'unité de commande (8) actionne la pompe à fluide (1) lorsque la pression de fluide (P_{RELLE}) mesurée présente une valeur inférieure à la pression d'actionnement (P_{ON}) définie.

5. Système de fluide sous pression selon la revendication 4, **caractérisé en ce**

a) **que** l'unité de commande (8) détermine le flux de refoulement (Q) de la pompe à fluide (1),

b) **que** l'unité de commande (8) détermine la pression d'arrêt (P_{OFF}) en fonction du flux de refoulement (Q) de la pompe à fluide (1) et en fonction de la valeur théorique ($P_{THEORIQUE}$) spécifiée de la pression de fluide (P_{RELLE}).

6. Système de fluide sous pression selon la revendication 5, **caractérisé en ce**

a) **que** la pompe à fluide (1) est entraînée par un moteur d'entraînement (2), en particulier par un moteur d'entraînement (2) électrique, à une vitesse de rotation définie, et

b) **que** l'unité de commande (8) calcule le flux de refoulement de la pompe à fluide (1) à partir de la vitesse de rotation de la pompe d'entraînement.

7. Système de fluide sous pression selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, **caractérisé en ce que** l'unité de commande (8) adapte de manière dynamique la pression d'arrêt au cours du fonctionnement, en particulier en fonction d'au moins une des grandeurs suivantes :

- du flux de refoulement (Q) de la pompe à fluide (1) ;

- de la valeur théorique ($P_{THEORIQUE}$) spécifiée pour la pression de fluide (P_{RELLE}) ;

- de la hausse de pression dans le temps (dP/dt) de la pression de fluide (P_{RELLE}).

8. Système de fluide sous pression selon l'une quelconque des revendications 3 à 7, caractérisé en ce

a) que la pompe à fluide (1) est entraînée par un moteur d'entraînement (2), en particulier par un moteur d'entraînement (2) électrique,

b) que le moteur d'entraînement (2) est commandé par une commande de moteur,

c) que l'unité de commande (8) transfère un signal d'arrêt à la commande de moteur afin d'arrêter la pompe à fluide (1).

9. Système de fluide sous pression selon la revendication 8, **caractérisé en ce**

a) **que** l'unité de commande (8) est intégrée d'un point de vue structurel dans le capteur de pression (7), ou

b) **que** l'unité de commande (8) est séparée d'un point de vue structurel du capteur de pression (7).

10. Système de fluide sous pression selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce**

- a) **que** le fluide d'entraînement est un fluide hydraulique, en particulier une huile hydraulique, ou que la pompe à fluide (1) est une pompe hydraulique, et/ou
 b) **que** la pompe à fluide (1) alimente un consommateur (3) en fluide d'entraînement, et/ou
 c) **que** le consommateur (3) est un système de serrage (3) mécanique, qui immobilise par serrage de manière amovible une pièce à usiner ou un support de pièce à usiner.

11. Système de fluide sous pression selon la revendication 4 ou la revendication 10, caractérisé en ce

- a) **que** l'unité de commande (8) détermine, lorsque la pompe à fluide (1) est à l'arrêt, au moyen du capteur de pression (7), la variation dans le temps (dp/dt) de la pression de fluide (P_{RELLE}), et
 b) **que** l'unité de commande (8) définit la pression d'actionnement (P_{ON}) en fonction d'au moins une des grandeurs suivantes :

- de la variation dans le temps (dP_{RELLE}/dt) de la pression de fluide (P_{RELLE}) lorsque la pompe à fluide (1) est à l'arrêt ;
- de la pression d'arrêt (P_{OFF}) ;
- de la pression minimale (P_{MIN}) spécifiée.

12. Système de fluide sous pression selon la revendication 11, caractérisé en ce

- a) **que** la pression d'actionnement (P_{ON}) est plus grande que la pression minimale (P_{MIN}) spécifiée, et/ou
 b) **que** la pression d'actionnement (P_{ON}) présente de préférence une valeur telle que la pression de fluide (P_{RELLE}) ne baisse pas en dessous de la pression minimale (P_{MIN}) spécifiée après la mise en service de la pompe à fluide (1), au cours de l'amorce de la pompe à fluide (1).

13. Procédé de fonctionnement pour un système de fluide sous pression comprenant

- a) une pompe à fluide (1) servant à refouler un fluide d'entraînement à un flux de refoulement (Q) défini et à une pression de fluide (P_{RELLE}) définie,
 b) une unité de commande (8), qui met en service ou arrête la pompe à fluide (1) afin de régler une valeur théorique ($P_{THEORIQUE}$) spécifiée de la pression de fluide (P_{RELLE}),
 c) sachant que la pompe à fluide (1) présente, lors de l'arrêt, une marche à vide liée à l'inertie de sorte que la pression de fluide continue d'augmenter au cours de la marche à vide de la pompe à fluide (1), tandis que la pompe à fluide (1) est déjà arrêtée
 d) sachant que la pompe à fluide (1) présente, lors de la mise en service, une amorce liée à l'inertie de sorte que la pression de fluide (P_{RELLE}) n'augmente pas encore de manière considérable au cours de l'amorce de la pompe à fluide (1) bien que la pompe à fluide (1) soit déjà mise en service,

caractérisé en ce

- e) **que** l'unité de commande (8) arrête, en cas d'élévation de la pression de fluide (P_{RELLE}) pour s'établir à la valeur théorique ($P_{THEORIQUE}$) spécifiée, la pompe à fluide (1) avant que la pression de fluide (P_{RELLE}) n'ait atteint la valeur théorique ($P_{THEORIQUE}$) spécifiée, et/ou
 f) **que** l'unité de commande (8) actionne à nouveau la pompe à fluide (1) en cas de baisse de la pression de fluide (P_{RELLE}) lorsque la pompe à fluide (1) est à l'arrêt avant que la pression de fluide (P_{RELLE}) ne tombe à une pression minimale (P_{MIN}) spécifiée.

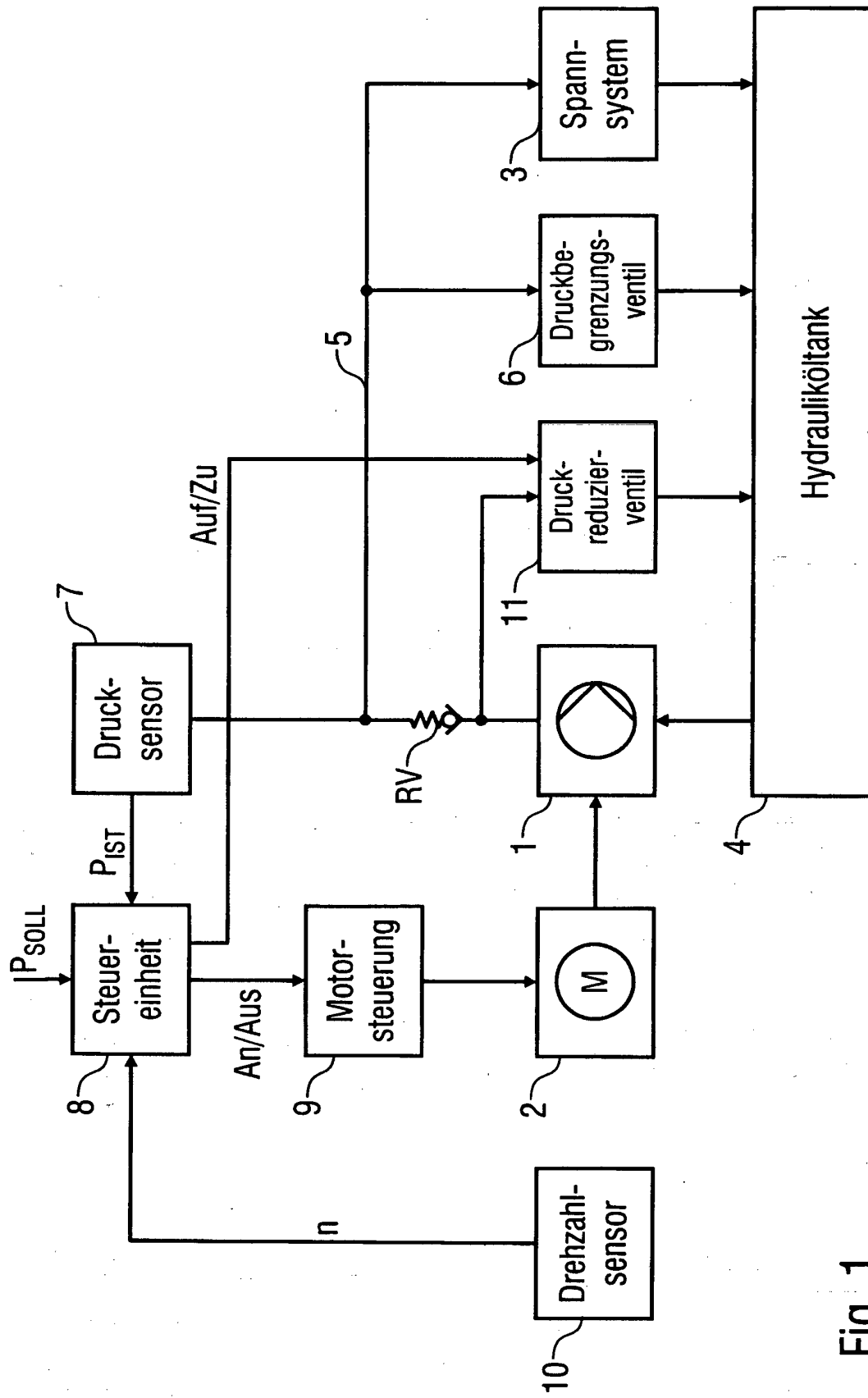


Fig. 1

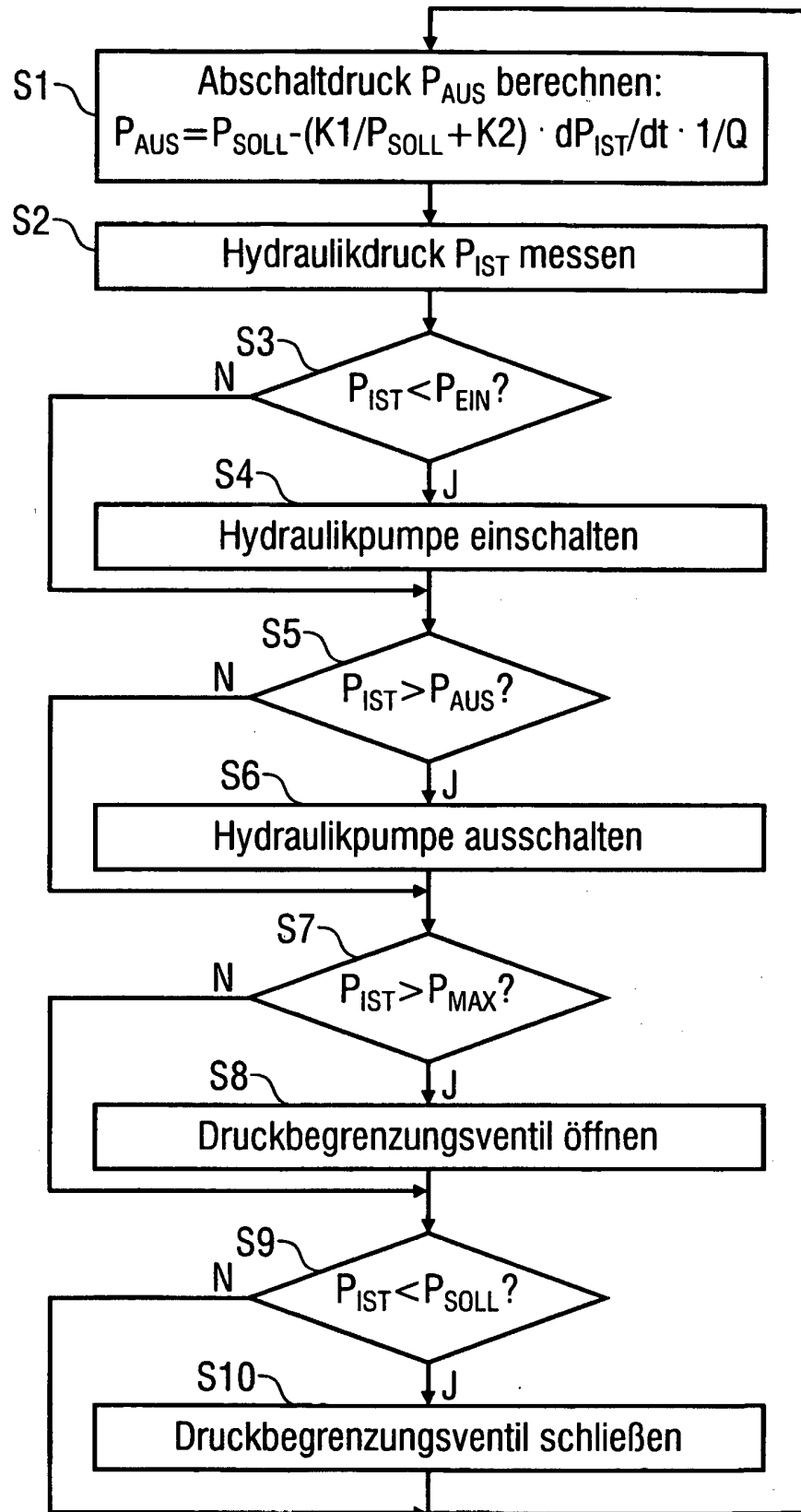


Fig. 2

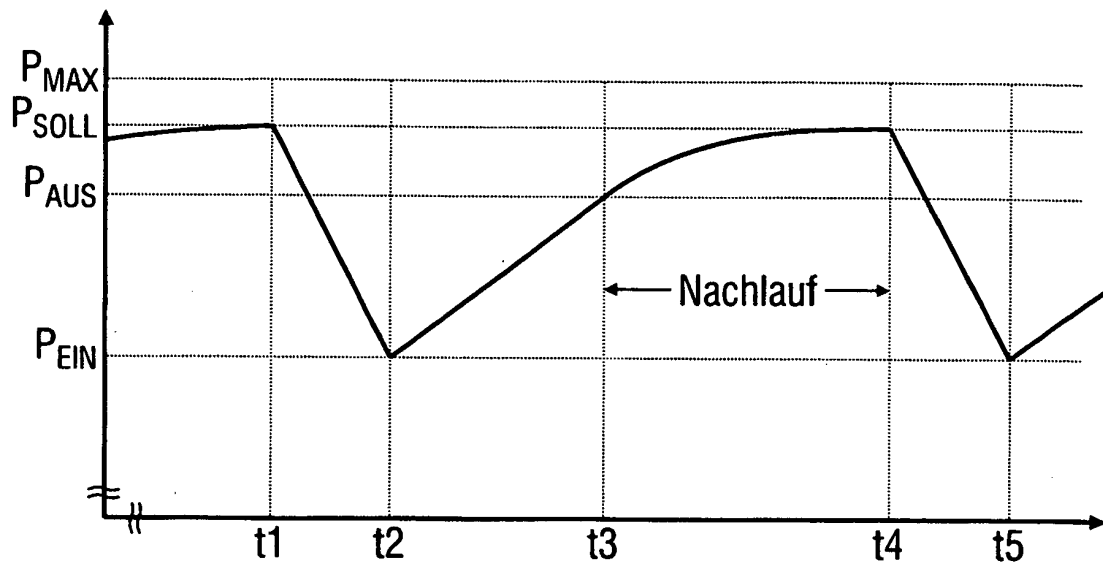


Fig. 3A

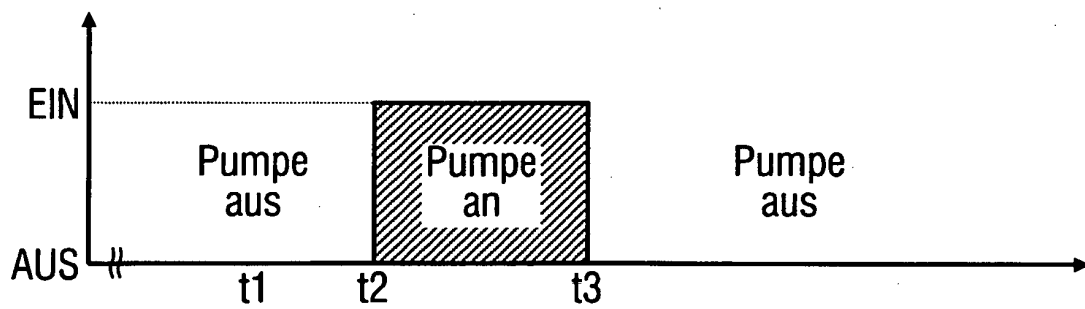


Fig. 3B

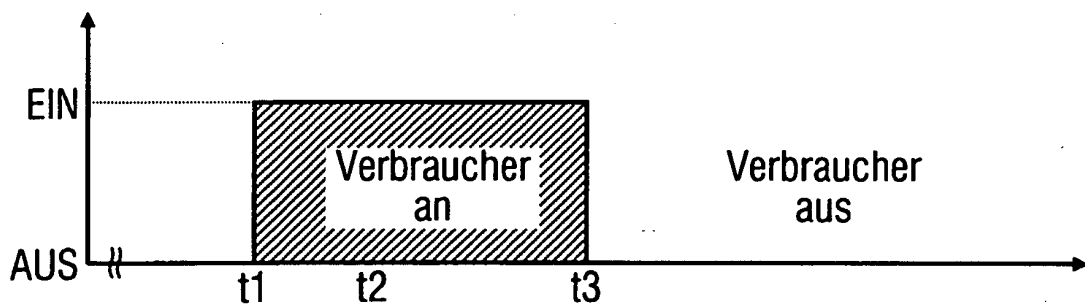


Fig. 3C

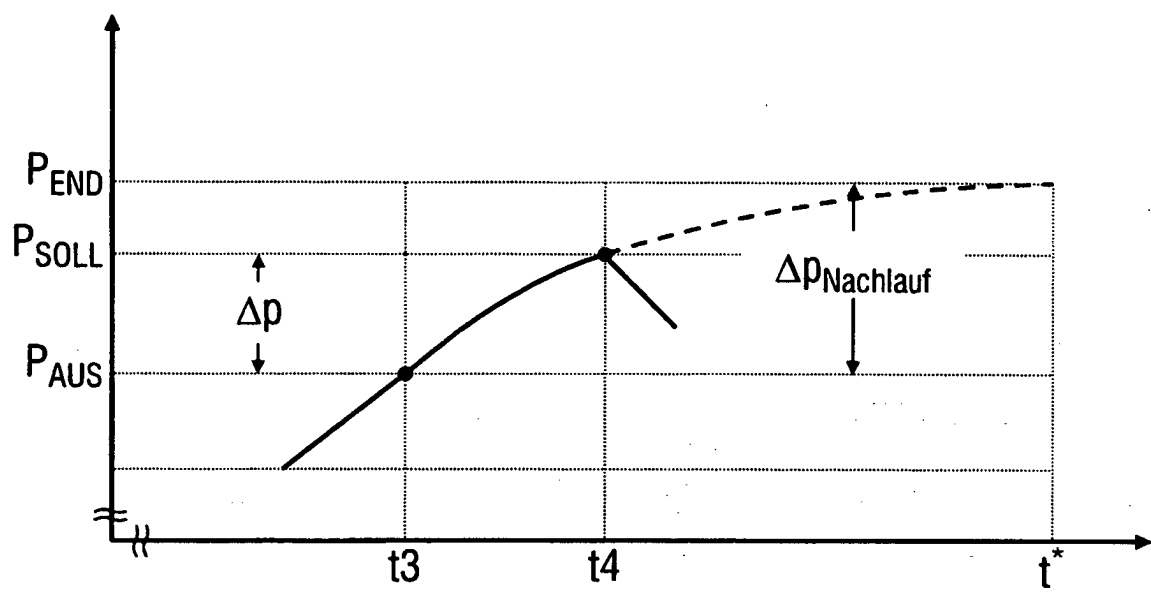


Fig. 3D

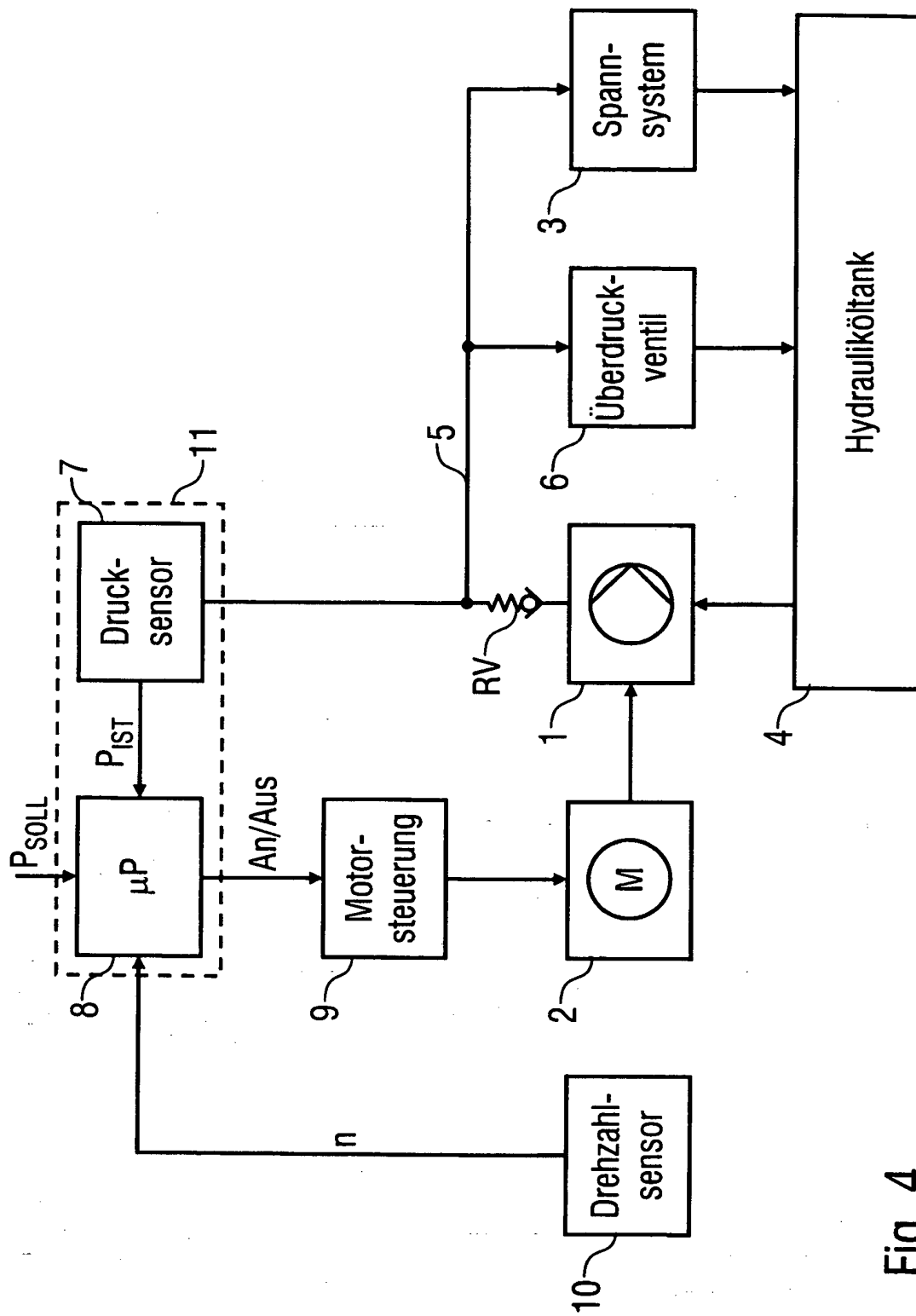


Fig. 4

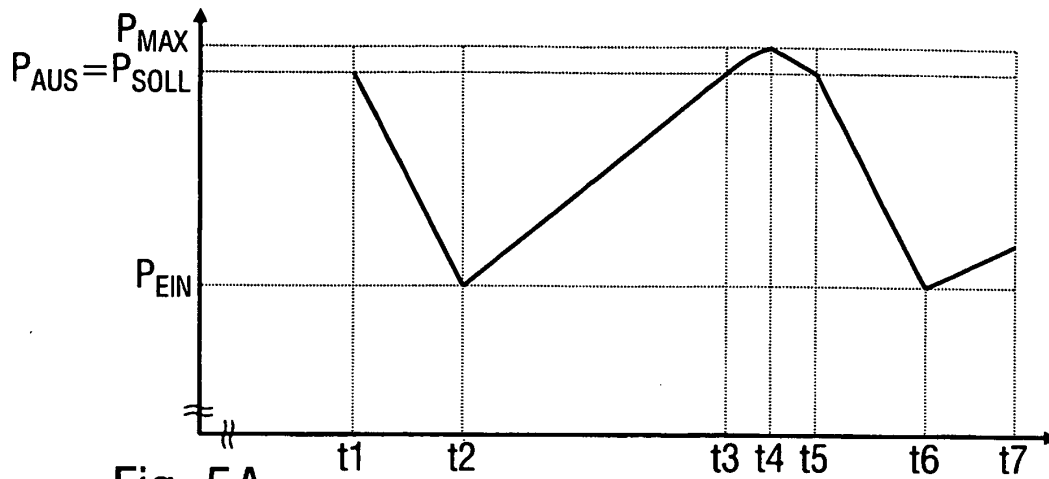


Fig. 5A
Stand der Technik

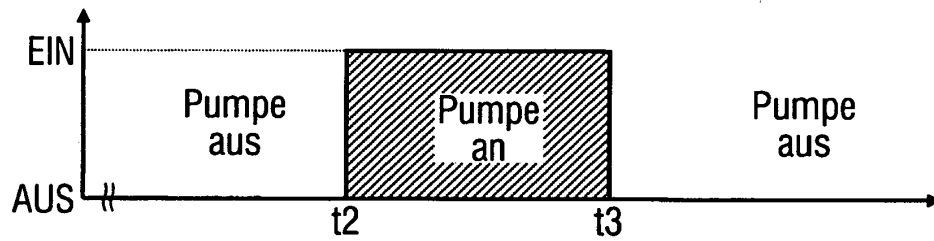


Fig. 5B
Stand der Technik



Fig. 5C
Stand der Technik

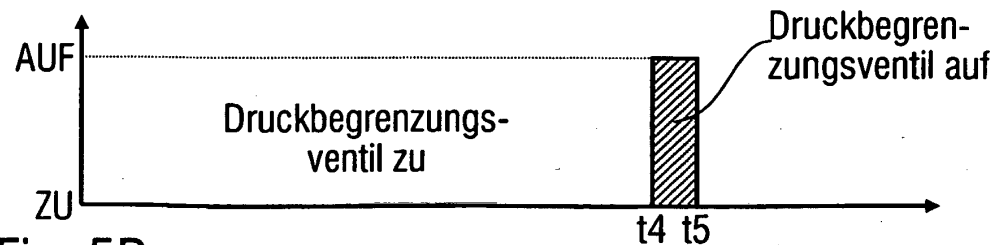


Fig. 5D
Stand der Technik

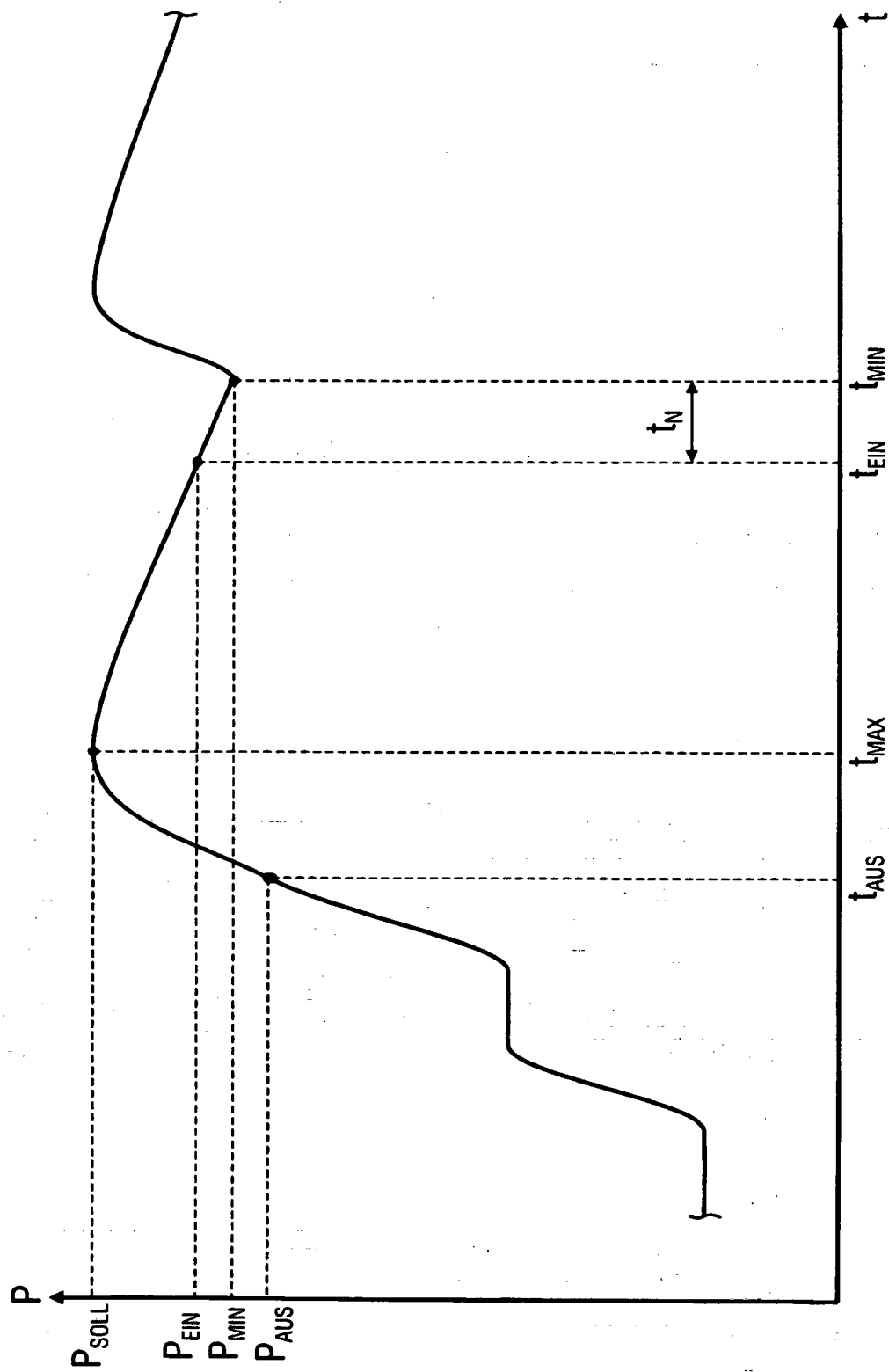


Fig. 6

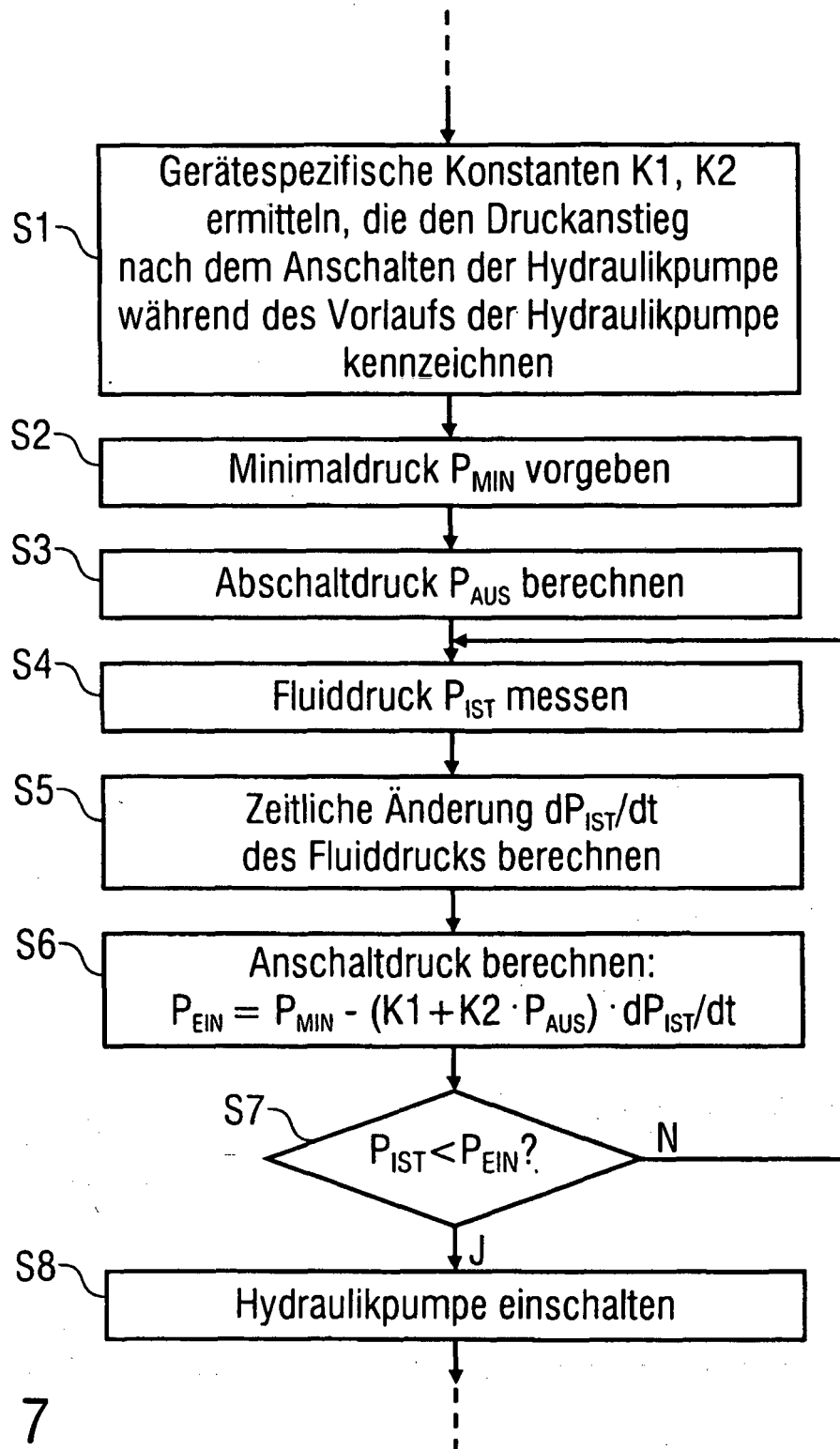


Fig. 7

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

- DE 3136177 A1 [0002] [0039]
- DE 19959706 A1 [0013]
- DE 102005060321 A1 [0013]
- DE 202008011507 U1 [0014]
- DE 69715709 T2 [0014]
- DE 19713576 A1 [0014]
- DE 102005002443 A1 [0015]
- US 20040098984 A1 [0015]
- US 005829335 A [0015]