

(19)



(11)

**EP 2 192 308 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**08.07.2015 Patentblatt 2015/28**

(51) Int Cl.:  
**F15B 11/02** <sup>(2006.01)</sup> **F15B 9/04** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **09014790.1**

(22) Anmeldetag: **27.11.2009**

(54) **Verfahren und Regelungsvorrichtung zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für einen hydraulischen Aktor**

Method and controller for controlling pressure fluid supply for a hydraulic actuator

Procédé et dispositif de réglage d'admission de fluide pour un actionneur 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 MK MT NL NO PL  
PT RO SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **29.11.2008 DE 102008059659**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**02.06.2010 Patentblatt 2010/22**

(73) Patentinhaber: **Robert Bosch GmbH  
70469 Stuttgart (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Koeckemann, Albert, Dr.  
97816 Lohr am Main (DE)**

• **Liebler, Gerold  
97828 Marktheidenfeld (DE)**  
• **Lebert, Christian  
63877 Eichenberg (DE)**

(74) Vertreter: **Thürer, Andreas  
Bosch Rexroth AG  
BR/IPR  
Zum Eisengiesser 1  
97816 Lohr am Main (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A1- 1 236 558 DE-C1- 4 335 403**

**EP 2 192 308 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 Verfahren und eine Regelungsvorrichtung zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für einen hydraulischen Aktor. Bei Kunststoffspritzgießmaschinen mit einem hydraulisch betriebenen Zylinder treibt ein Elektromotor eine Pumpe an, die dem Zylinder ein hydraulisches Druckmittel gemäß einer Druck/Volumenstrom-Regelung zuführt. In dem Arbeitszyklus der Kunststoffspritzgießmaschine gibt es Bereiche, in denen der Druck geregelt wird, sowie weitere Bereiche, in denen der Volumenstrom geregelt wird.

**[0002]** In der EP 1 236 558 B1 wird vorgeschlagen, die Drehzahl des Elektromotors an den angeforderten Druck oder den angeforderten Volumenstroms anzupassen. Dafür wird ein Drehzahl-Profil erstellt. Dieses Drehzahl-Profil wird verwendet, um die Drehzahl während des Ablaufs des Zyklus zu verändern. Es hat sich allerdings herausgestellt, dass bei einer Änderung, insbesondere einer Verringerung der Drehzahl des Elektromotors die Regelgüte sinkt.

**[0003]** Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren sowie eine Regelvorrichtung zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für einen hydraulischen Aktor bereitzustellen, wobei die Regelgüte im Vergleich zu bekannten Lösungen verbessert wird.

**[0004]** Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

**[0005]** Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für einen hydraulischen Aktor einer -z.B. zyklisch arbeitenden - Maschine bereitgestellt. Der Aktor wird von einer Verstellpumpe mit einer Druckmittelmenge versorgt, wobei die Verstellpumpe ihrerseits von einem drehzahlgesteuerten Motor - z.B. ein Elektromotor - angetrieben ist.

**[0006]** Ein Signal, das den Druck der Druckmittelmenge anzeigt, wird zu einem Regler zum Ansteuern der Verstellpumpe rückgekoppelt. Der Regler weist einen Vergleichereinheit sowie einen Regelverstärker auf. Parallel zu diesem Druckregelkreis wird der Motor anhand eines Drehzahlsignals angesteuert. Es kann z.B. ein Drehzahl-Profil zum Einstellen der Drehzahl des Elektromotors innerhalb eines Arbeitszyklus der Maschine erstellt werden, um das Drehzahlsignal zu bilden, wie es an sich die EP 1 236 558 B1 beschreibt. In den Arbeitszyklen der Maschine wird der Elektromotor entsprechend dem ermittelten Drehzahl-Profil betrieben. Es kann aber auch ein Drehzahlsignal von einem übergeordneten Regelkreis oder einer externen Steuerung vorgegeben werden. Erfindungsgemäß werden die Eigenschaften des Regelverstärkers des Druckreglers entsprechend dem Drehzahlsignal variiert.

**[0007]** Durch die Variation der Eigenschaften des Regelverstärkers kann die Regelgüte des Reglers bei unterschiedlichen Drehzahlen konstant gelassen werden. Dadurch kann dem Verschlechtern der Regelgüte bei er-

niedriger Drehzahl entgegen gewirkt werden. Ohne die entsprechende Variation der Eigenschaften der Regelverstärker würde sich bei verringerter Drehzahl auch die Kreisverstärkung verringern. Damit vergrößert sich unter Umständen eine bleibende Regelabweichung, oder die Dämpfung des Regelkreises wird schlechter, wodurch sich Störungen, die auf den Regelkreis einwirken, stärker bemerkbar machen. Durch die Variation der Eigenschaften des Regelverstärkers wird dem entgegengewirkt.

**[0008]** In einer Ausführungsform wird die Verstärkung des Regelverstärkers in Abhängigkeit der Drehzahl eingestellt. Mit einer Veränderung der Verstärkung des Regelverstärkers wird auch die Kreisverstärkung verändert, wodurch diese auch bei unterschiedlichen Drehzahlen im Wesentlichen konstant gehalten werden kann.

**[0009]** Vorzugsweise wird bei der Verringerung der Drehzahl die Verstärkung des Regelverstärkers erhöht, um die Kreisverstärkung im Wesentlichen konstant zu lassen. Damit führen Störungen bei niedriger Drehzahl nicht zu einer wesentlich größeren Regelabweichung als bei hoher Drehzahl.

**[0010]** In einer weiteren Ausführungsform weist der Druckregler ein Differenzierglied mit einem Beiwert KD zum Differenzieren des Signals, das den Druck der Druckmittelmenge anzeigt, auf. Dabei wird der Beiwert KD des Differenzierglieds in Abhängigkeit von der Drehzahl eingestellt. Hiermit kann auch das dynamische Verhalten des Druckreglers über den gesamten Drehzahlbereich im Wesentlichen stabil gehalten werden. Somit dauern Einschwingvorgänge auch bei unterschiedlich eingestellten Drehzahlen ähnlich lang. Es wird insbesondere eine bei allen Drehzahlen gleiche, im Wesentlichen konstante Dämpfung erreicht. Einschwingvorgänge haben damit immer die gleiche Charakteristik und Dauer.

**[0011]** Bevorzugt wird dabei, dass bei verringerter Drehzahl der Beiwert des Differenzierglieds auf höhere Werte eingestellt wird, um einem Abfall der Dämpfung bei niedrigen Drehzahlen entgegen zu wirken. Besonders geeignet ist das Verfahren bei einer Kunststoffverarbeitungsmaschine, bei der flüssiger Kunststoff in eine Form eingespritzt wird. Weitere Anwendungen können Pressen, insbesondere Abkantpressen sein. Bei solchen Maschinen werden die gleichen Arbeitsschritte oft wiederholt, so dass der Druckmittelbedarf bei jedem Arbeitszyklus gleich verläuft.

**[0012]** Die Erfindung betrifft auch eine Regelvorrichtung zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für einen hydraulischen Aktor einer - z.B. zyklisch arbeitenden - Maschine. Bei dieser Maschine wird der Aktor von einer von einem drehzahlgesteuerten Motor - z.B. ein Elektromotor, ggf. z.B. auch ein Verbrennungsmotor, ein Dieselmotor, ein Ottomotor - angetriebenen Verstellpumpe mit einer Druckmittelmenge versorgt. Der Druckregler zum Ansteuern der Verstellpumpe und ein Druckumformer zum Umsetzen des Drucks der Druckmittelmenge in ein Rückkopplungssignal für den Druckregler sind vorgesehen. Die Regelvorrichtung weist unter Umständen auch eine Vorrichtung zum Erstellen eines Drehzahl-Profiles

zum Einstellen der Drehzahl des Motors während eines Zyklus der Maschine und eine Einstellvorrichtung zum Betreiben des Motors entsprechend dem ermittelten Drehzahl-Profil in den Arbeitszyklen der Maschine auf. Die Drehzahl des Motors kann aber auch anhand eines der Regelvorrichtung zugeführten Drehzahlsignals gesteuert und verstellt werden. Die Regelvorrichtung enthält eine Reglungsanpassungsvorrichtung zum Anpassen der Eigenschaften des Druckreglers entsprechend dem Drehzahlsignal. Die Regelvorrichtung ermöglicht somit, die Regelgüte über einen großen Drehzahlbereich im Wesentlichen konstant zu lassen.

**[0013]** In einer Ausführungsform weist der Druckregler einen Vergleichler und einen Regelverstärker mit einem Proportionalglied auf, wobei die Verstärkung des Regelverstärkers in Abhängigkeit von dem Drehzahlsignal eingestellt wird. Damit werden die Kreisverstärkung und somit auch die Regelabweichung eingestellt. Bevorzugt wird dabei bei Verringerung der Drehzahl die Verstärkung des Regelverstärkers erhöht.

**[0014]** In einer weiteren Ausführungsform weist der Druckregler ein Differenzierglied mit einem Beiwert KD zum Differenzieren desjenigen Signals, das den Druck der Druckmittelmenge anzeigt, auf. Die Reglungsanpassungsvorrichtung ist zum Einstellen des Beiwerts des Differenzierglieds in Abhängigkeit von dem Drehzahlsignal eingestellt. Damit kann auch das dynamische Verhalten des geschlossenen Regelkreises über die Drehzahl stabil gehalten werden.

**[0015]** Vorzugsweise wird bei verringerter Drehzahl der Beiwert KD des Differenzierglieds auf höhere Werte eingestellt.

**[0016]** Die Erfindung betrifft auch eine Baugruppe aus einer erfindungsgemäßen Regelvorrichtung und einem Aktor, dessen Versorgung mit einem hydraulischen Druck mittels der Regelvorrichtung bereitgestellt wird.

**[0017]** Die Erfindung wird nun anhand der beigefügten Figuren näher erläutert.

Figur 1 zeigt einen Aktor einer Fertigungsmaschine mit der dazu gehörigen Regelvorrichtung zur Erzeugung von hydraulischen Druckmengen.

Figur 2 zeigt Details der Regelvorrichtung aus Figur 1.

Figur 3 zeigt Einzelheiten der Regelvorrichtung aus Figur 2.

**[0018]** Figur 1 zeigt einen Aktor einer Fertigungsmaschine sowie die dazu verwendete Regelung zum Bereitstellen von hydraulischem Druckmittel für diesen Aktor.

**[0019]** Der Aktor 11 ist ein Zylinder für eine zyklisch arbeitende Fertigungsmaschine, die flüssigen Kunststoff in eine Form einspritzt. Ein Arbeitszyklus unterteilt sich in mehrere nacheinander ablaufende Abschnitte des Zyklus, die sich hinsichtlich der benötigten Druckmenge unterscheiden. In diesen Abschnitten erfolgt jeweils ein Ar-

beitsvorgang. Arbeitsvorgänge sind beispielsweise "Werkzeug schließen", "Kunststoff einspritzen", "das Werkzeug öffnen", "eine Nachdruckphase abwarten" oder ähnliches.

**[0020]** In diesen unterschiedlichen Abschnitten müssen unterschiedliche Druckmengen dem Aktor bereitgestellt werden, was mit Hilfe des Ventils 17 erfolgt. Die Verstellpumpe 13 fördert aus einem Tank 15 Druckmittel in die Leitung 16, woraufhin die Hydraulikflüssigkeit in der Leitung 16 einen Druck  $p$  aufweist. Das Ventil 17 ist zwischen der Leitung 16 und dem Aktor 11 vorgesehen. Dieses Ventil 17 steuert den Volumenstrom von der Verstellpumpe 13 zu dem Zylinder 11 und von dort zurück zum Tank 15. Das Ventil 17 wird elektrisch von einer übergeordneten Steuerung 25 mit dem Signal  $u_1$ , das über die Leitung 27 geleitet wird, angesteuert.

**[0021]** Ein Wegemessumformer 21 misst die Position der Kolbenstange des Zylinders 11, wandelt diese Position in ein elektrisches Signal  $s_1$  um, das über die Leitung 23 an die übergeordnete Steuerung 25 ausgegeben wird.

**[0022]** Zur Steuerung des Drucks  $p$  in der Leitung 16 ist eine Regelvorrichtung vorgesehen, die die Einrichtung zur Regelung der Druckmittelzufuhr 10, den Druckmessumformer 40, das Stellglied 31, den Messumformer 32, den Frequenzumrichter 33, den Elektromotor 14, die Welle 34 und die Verstellpumpe 13 enthält. Die Einrichtung 10 empfängt von der übergeordneten Steuerung 25 einen Sollwert für den Druck  $p_s$  und einen Sollwert für den Volumenstrom  $Q_s$ . Die Sollwerte  $p_s$  und  $Q_s$  entsprechen einem in der übergeordneten Steuerung gespeicherten DruckNolumenstrom-Profil  $P(t)/Q(t)$ .

**[0023]** Zudem empfängt die Vorrichtung 10 ein Zyklusstartsignal  $yt_0$ , das anzeigt, wann ein neuer Zyklus beginnt. Zudem empfängt die Einrichtung 10 das Signal  $p_i$  von dem Druckmessumformer 40, der den Druck  $p$  in der Leitung 16 in ein entsprechendes elektrisches Signal  $p_i$  umwandelt. Als Ausgangssignale gibt die Einrichtung 10 einen Sollwert für die Drehzahl  $n_s$  sowie ein Ausgangssignal für das Fördervolumen  $y_{VF}$  aus. Das Signal  $n_s$  empfängt der Frequenzumrichter 33, der dementsprechend den Elektromotor 14 mit einer Frequenz  $f$  so antreibt, dass die Drehzahl  $n$  des Elektromotors 14 gleich dem Sollwert für die Drehzahl  $n_s$  ist. Die Drehbewegung des Elektromotors wird über die Welle 34 an die Verstellpumpe 13 übertragen.

**[0024]** In der hier gezeigten Ausführungsform wird die Drehzahl  $n$  des Elektromotors 14 nicht gemessen und rückgekoppelt, die Drehzahl  $n$  wird somit im offenen Kreis gesteuert. In einer alternativen Ausführungsform ist es auch möglich, die Drehzahl zu messen und zu dem Frequenzumrichter 33 rückzuführen, um die Drehzahl  $n$  des Elektromotors zu regeln.

**[0025]** Das Stellglied 31 empfängt das Ausgangssignal  $y_{VF}$  von der Einrichtung 10 und steuert das Fördervolumen  $V_F$  der Verstellpumpe 13. Der Messwertumformer 32 gibt ein elektrisches Signal, das den Ist-Wert des Fördervolumens  $V_{Fi}$  der Verstellpumpe 13 anzeigt, aus.

**[0026]** Die Einrichtung 10 enthält einen Pumpenregler

41, eine Motorsteuerung 42, einen Multiplizierer 44 und ein Rechenglied 45. Der Multiplizierer 44 ist als Proportionalglied mit einem steuerbaren Verstärkungsfaktor KQ ausgeführt. Das Rechenglied 45 empfängt als Eingangssignal den Sollwert für die Drehzahl  $n_s$  und gibt dessen Kehrwert an seinen Ausgang als das Signal KQ aus. Der Multiplizierer empfängt an seinen Eingängen den Sollwert für den Volumenstrom QS sowie das Signal KQ.

**[0027]** Der Multiplizierer 44 bildet folglich aus dem Sollwert QS für den dem Zylinder zuzuführenden Volumenstrom unter Berücksichtigung der Drehzahl  $n$  des Elektromotors 14 einen Sollwert VFs für das Fördervolumen der Verstellpumpe 13. Der Pumpenregler 41 empfängt als Eingangssignal den Ist-Wert für das Fördervolumen VFi, den Ist-Wert für den Druck  $p_i$ , den Sollwert für das Fördervolumen VFs sowie den Sollwert für den Druck  $p_s$  und gibt an seinem Ausgang das Ausgangssignal für das Fördervolumen  $y_{VF}$  aus.

**[0028]** Figur 2 zeigt Details des Pumpenreglers 41 aus Figur 1. Der Druckregler 41 weist ein erstes Summationsglied 48, ein zweites Summationsglied 51, einen Fördervolumenregler 49, einen Druckregler 52 und ein Minimalwertauswahlglied 50 auf. Das erste Summationsglied 48 bildet aus dem Sollwert VFs und dem Ist-Wert VFi eine Regeldifferenz, die dem Fördervolumenregler 49 als Eingangssignal zugeführt wird.

**[0029]** Das mit  $y_{VF1}$  bezeichnete Ausgangssignal des Fördervolumenreglers 49 ist dem Minimalwertauswahlglied 50 als erstes Eingangssignal zugefügt. Das zweite Summationsglied 51 empfängt den Sollwert für den Druck  $p_s$  und den Ist-Wert für den Druck  $p_i$ , woraus durch Subtraktion die Regeldifferenz für den Druck gebildet und an den Druckregler 52 ausgegeben wird. Der Druckregler 52 gibt als Ausgangssignal den Wert  $y_p$  an das Minimalwertauswahlglied 50, das den Wert  $y_p$  an seinem zweiten Eingang empfängt. Das Minimalwertauswahlglied 50 wählt das kleinere der beiden Eingangssignale  $y_{VF1}$  und  $y_p$  aus und leitet diesen Minimalwert als Stellgröße  $y_{VF}$  für das Fördervolumen VF an das Stellglied 31 weiter. Sowohl die Regelung des Fördervolumens VF als auch die Regelung des Drucks  $p$  erfolgt mit Hilfe des Einstellens des Fördervolumens der Verstellpumpe 13.

**[0030]** Die Übertragungsverhalten des Förderstromreglers 49 und des Druckreglers 52 weisen jeweils einen Proportional- und einen Differentialanteil auf.

**[0031]** In der übergeordneten Steuerung 25 ist ein Druck/ Volumenstrom-Profil  $p(t)/Q(t)$  für die Druckmittelzufuhr des Zylinders 11 gespeichert. Ein Drehzahlprofil  $n(t)$  für den Elektromotor wird wie in der Druckschrift EP 1 236 558 B1 erstellt. Dabei wird ein Drehzahl-Profil  $n(t)$  für den Elektromotor 14 erstellt, das den Verlauf der Drehzahl  $n$  während eines Fertigungszyklus vorgibt. Hierzu wird der Elektromotor 14 zunächst mit der konstanten Drehzahl  $n_{max}$  betrieben. Die Regelung des dem Zylinder 11 zugeführten Volumenstroms erfolgt dabei allein durch den Pumpenregler 41. Der Pumpenregler 41 sorgt dafür, dass die Verstellpumpe 13 dem Zylinder 11 den Volumenstrom zuführt, der erforderlich ist, um die

durch das Druck/Volumenstrom-Profil  $p(t)/Q(t)$  vorgegebenen Werte einzuhalten. Dieser Volumenstrom ist im Folgenden auch als Volumenstrombedarf QA bezeichnet.

**[0032]** Durch die Regelung von Druck  $p$  und Volumenstrom  $Q$  stellt sich ein von der Verstellpumpe 13 geförderter Volumenstrom ein, der sowohl das Kompressionsvolumen des Druckmittels als auch Leckverluste berücksichtigt, also Einflussgrößen, die einer Berechnung nur schwer zugänglich sind. Dies gilt in gleicher Weise für den Volumenstrombedarf des Zylinders 11 bei einer Druckregelung. Da sich der von der Verstellpumpe 13 geförderte Volumenstrom  $Q$  nach der Beziehung  $Q = n_{max} \cdot VF$  aus der Drehzahl  $n_{max}$  des Elektromotors 14 und dem Fördervolumen VF der Verstellpumpe 13 ergibt, lässt sich der dem Zylinder 11 zugeführte Volumenstrom direkt aus dem Istwert VFi des Fördervolumens unter Berücksichtigung der konstanten Drehzahl  $n_{max}$  berechnen.

**[0033]** Es ist vorteilhaft, als konstante Drehzahl  $n_{max}$  die größte Drehzahl, mit der der Elektromotor 14 in den Fertigungszyklen betrieben werden soll, zu wählen. Bei dieser Drehzahl handelt es sich in der Regel um die Nenndrehzahl des Elektromotors 14.

**[0034]** Der Optimierungsvorgang weist eine Reihe von Lernzyklen auf, in denen die Verstellpumpe 13 mit der konstanten Drehzahl  $n_{max}$  angetrieben wird. In einem ersten Lernzyklus wird die Dauer eines Fertigungszyklus durch Messung der Zeitdauer zwischen zwei Zyklusstartimpulsen ermittelt. Aus der Dauer eines Fertigungszyklus und der Anzahl der in der Motorsteuerung 42 für die Speicherung von Werten zur Verfügung stehenden Speicherplätze wird der zeitliche Abstand  $\Delta t$  für die Erfassung der zu speichernden Werte ermittelt. In einem weiteren Lernzyklus werden im Abstand von  $\Delta t$  die Istwerte VFi des Fördervolumens erfasst und in der Motorsteuerung 42 gespeichert. Die dort gespeicherten Werte bilden ein Fördervolumen-Profil  $VFi(t)$ .

**[0035]** In gleicher Weise werden die Istwerte  $p_i$  des Drucks erfasst und in der Motorsteuerung 42 gespeichert. Die gespeicherten Werte bilden ein Druckprofil  $p_i(t)$ . Durch Multiplikation der gespeicherten Einzelwerte des Fördervolumens mit der konstanten Drehzahl  $n_{max}$  erhält man ein Volumenstrombedarf-Profil  $QA(t)$ . Durch Division des Volumenstrombedarfs QA durch einen konstanten Wert des Fördervolumens VF erhält man ein Drehzahl-Profil  $n(t)$ . Es empfiehlt sich, den konstanten Wert so zu wählen, dass er in der Nähe des Nennwerts des Fördervolumens VF der Verstellpumpe 13 liegt. Damit eine Regelreserve zur Verfügung steht, wird der konstante Wert so gewählt, dass er ungefähr 90 % des Nennwerts des Fördervolumens VF der Verstellpumpe 13 entspricht. Dieser Wert ist im folgenden mit  $VF_{Go}$  bezeichnet.

**[0036]** Um Speicherplatz einzusparen, kann nach dem Abschluss einer Division der gespeicherte Wert des Volumenstrombedarfs QA durch den aus ihm berechneten Drehzahlwert  $n$  ersetzt werden. Steuert man die Dreh-

zahl des Elektromotors 14 gemäß dem auf diese Weise ermittelten Drehzahl- Profil  $n(t)$  an, würde sich unter idealen Bedingungen das Fördervolumen VF der Verstellpumpe 13 auf den Wert VFgO einstellen. In der Praxis ist jedoch das Fördervolumen VF der Verstellpumpe 13 während eines Zyklus nicht konstant, insbesondere da sich die Drehzahl  $n$  des Elektromotors 14 nicht so schnell ändern lässt wie das Fördervolumen VF der Verstellpumpe 13. Dazu kommt, dass insbesondere im Hinblick auf die Schmierung der Verstellpumpe 13, der Kühlung des Elektromotors 14 und das maximal zulässige Drehmoment des Elektromotors 14 seine Drehzahl  $n$  nicht beliebig verringert werden darf.

**[0037]** Wird während eines Arbeitszyklus die Drehzahl des Motors verändert, verändern sich auch die Eigenschaften der Regelung des Drucks. Aus diesem Grund werden die Eigenschaften des Druckreglers 52 entsprechend der Drehzahl des Elektromotors 14 eingestellt, wie dies anhand der folgenden Figur 3 demonstriert wird.

**[0038]** Figur 3 zeigt Details des Druckreglers 52 in einer schematischen Übersicht. Der Druckregler 52 enthält ein Differenzierglied 521, ein Proportionalglied 522, ein Summationsglied 524 sowie einen Verstellblock 523. Das Proportionalglied 522 empfängt die Regeldifferenz für den Druck von dem zweiten Summationsglied 51 des Druckreglers 41. Diese Regeldifferenz wird mit dem Beiwert  $K_p$  multipliziert und das Ergebnis dieser Multiplikation an einen ersten Eingang des Summationsglieds 524 geführt.

**[0039]** Das Differenzierglied 521 empfängt den Ist-Wert für den Druck  $p_i$ , der in dem Differenzierglied 521 abgeleitet wird und mit dem Faktor  $K_D$ , der der Beiwert des Differenzierglieds 521 ist, multipliziert wird. Das Ergebnis dieser Multiplikation wird auf den zweiten Eingang des Summationsglieds 524 geführt. Das Summationsglied 524 zieht den Wert an seinem zweiten Eingang von dem Wert an seinem ersten Eingang ab und gibt das Ergebnis dieser Differenzbildung als Ausgangssignal  $y_p$  aus.

**[0040]** Der Verstellblock 523 empfängt an seinem Eingang den Sollwert für die Drehzahl  $n_s$  und gibt an seinen Ausgängen Werte aus, mit denen die Beiwerte  $K_p$  und  $K_D$  variiert werden. Dazu ist in dem Verstellblock 523 eine Wertetabelle hinterlegt, die angibt, wie groß die Faktoren  $K_p$  und  $K_D$  in den verschiedenen Wertebereichen der Soll Drehzahl  $n_s$  sind. Beispielsweise wird in einem Drehzahlbereich von 600 bis 800 Umdrehungen pro Minute der Faktor  $K_p$  doppelt so groß eingestellt wie in dem Drehzahlbereich von 1300 bis 1500 Umdrehungen pro Minute. Entsprechend wird im niedrigen Drehzahlbereich auch der Faktor  $K_D$  im Vergleich zum hohen Drehzahlbereich erhöht.

**[0041]** Somit wird die Kreisverstärkung und die Dämpfung des Gesamtsystems über den gesamten Drehzahlbereich im Wesentlichen stabil gehalten. Es wird somit eine gesteuerte Adaption der Verstärkung und der Dämpfung des Druckreglers über die Drehzahl bereitgestellt. Diese Lösung bewirkt, dass die Regelgüte auch

bei der variablen Drehzahl gehalten wird.

#### Bezugszeichenliste

5 **[0042]**

|        |                                                |
|--------|------------------------------------------------|
| 10     | Einrichtung zur Regelung der Druckmittelzufuhr |
| 11     | Zylinder                                       |
| 13     | Verstellpumpe                                  |
| 10 14  | Elektromotor                                   |
| 15     | Tank                                           |
| 16     | Leitung                                        |
| 17     | Ventil                                         |
| 21     | Wegemessumformer                               |
| 15 23  | Leitung                                        |
| 25     | übergeordnete Steuerung                        |
| 27     | Leitung                                        |
| 31     | Stellglied                                     |
| 32     | Messumformer                                   |
| 20 33  | Frequenzumrichter                              |
| 34     | Welle                                          |
| 40     | Druckmessumformer                              |
| 41     | Pumpenregler                                   |
| 42     | Motorsteuerung                                 |
| 25 44  | p-Glied                                        |
| 45     | Rechenglied                                    |
| 48     | erstes Summationsglied                         |
| 49     | Fördervolumenregler                            |
| 50     | Minimalwertauswahlglied                        |
| 30 51  | zweites Summationsglied                        |
| 52     | Druckregler                                    |
| 521    | Differenzierglied                              |
| 522    | Proportionalglied                              |
| 523    | Verstellblock                                  |
| 35 524 | Summationsglied                                |

#### **Patentansprüche**

- 40 1. Verfahren zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für einen hydraulischen Aktor (11) einer Maschine, bei der der Aktor (11) von einer von einem drehzahlgesteuerten Motor (14) angetriebenen Verstellpumpe (13) mit einer Druckmittelmenge versorgt wird, wobei
  - 45 - ein Signal, das den Druck der Druckmittelmenge anzeigt, zu einem Druckregler (52) zum Ansteuern der Verstellpumpe (13) rückgekoppelt wird, und der Motor (14) entsprechend einem Drehzahlsignal betrieben wird, **dadurch gekennzeichnet, dass**
    - 50 die Eigenschaften des Reglerverstärkers (522) des Druckreglers (52) entsprechend dem Drehzahlsignal variiert werden.
- 55 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**

die Verstärkung des Regelverstärkers in Abhängigkeit von dem Drehzahlsignal eingestellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
bei Verringerung der Drehzahl die Verstärkung des Regelverstärkers erhöht wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
der Druckregler (52) ein Differenzierglied (521) mit einem Beiwert KD zum Differenzieren des Signals (pi), das den Druck (p) der Druckmittelmenge anzeigt, aufweist,  
und der Beiwert KD des Differenzierglieds (521) in Abhängigkeit von dem Drehzahlsignal eingestellt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
bei verringerter Drehzahl der Beiwert KD des Differenzierglieds (521) auf höhere Werte eingestellt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5.  
dadurch gekennzeichnet, dass  
es sich bei der Maschine um eine Kunststoffverarbeitungs-  
maschine zum Einspritzen von flüssigem Kunststoff in eine Form handelt.
7. Regelvorrichtung zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für einen hydraulischen Aktor (11) einer - insbesondere zyklisch arbeitenden - Maschine, bei der der Aktor (11) von einer von einem drehzahlgesteuerten Motor (14) angetriebenen Verstellpumpe (13) mit einer Druckmittelmenge versorgt wird, wobei die Regelvorrichtung folgendes aufweist:
  - einen Druckregler (52) zum Ansteuern der Verstellpumpe (13),
  - einen Druckumformer (40) zum Umsetzen des Drucks der Druckmittelmenge in ein Rückkopplungssignal an dem Druckregler (52), und
  - eine Einstellvorrichtung (33, 42) zum Betreiben des Motors (14) entsprechend einem Drehzahl-signal,

#### **gekennzeichnet durch**

eine Regelungsanpassungsvorrichtung (523) zum Anpassen der Eigenschaften des Druckreglers entsprechend dem Drehzahl-signal.

8. Regelvorrichtung nach Anspruch 7,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Druckregler (52) einen Vergleichler (51) und einen Regelverstärker mit einem Proportionalglied (522) aufweist, und  
dass die Regelungsanpassungsvorrichtung (523)

zum Einstellen des Beiwerts des Proportionalglieds in Abhängigkeit von dem Drehzahl-signal eingerichtet ist.

9. Regelvorrichtung nach Anspruch 8,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Regelungsanpassungsvorrichtung (523) zum Erhöhen des Beiwerts (Kp) des Proportionalglieds des Druckreglers bei Verringerung der Drehzahl eingerichtet ist.
10. Regelvorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
der Druckregler (52) ein Differenzierglied (521) mit einem Beiwert KD zum Differenzieren des Signals (pi), das den Druck (p) der Druckmittelmenge anzeigt, aufweist,  
und die Regelungsanpassungsvorrichtung zum Einstellen des Beiwerts KD des Differenzierglieds (521) in Abhängigkeit von dem Drehzahl-signal eingestellt wird.
11. Regelvorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
eine Regelungsanpassungsvorrichtung (523) zum Erhöhen des Beiwerts KD des Differenzierglieds (521) bei verringerter Drehzahl eingerichtet ist.
12. Regelvorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 11,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
es sich bei der Maschine um eine Kunststoffverarbeitungs-  
maschine handelt und die Druckmittel zum Einspritzen von flüssigem Kunststoff in eine Form verwendet werden.
13. Baugruppe aus einer Regelvorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 12 und einem Aktor (11), dessen Versorgung mit hydraulischem Druckmittel mittels der Regelvorrichtung bereitgestellt ist.

#### **Claims**

1. Method for controlling a pressure fluid supply for a hydraulic actuator (11) of a machine in which the actuator (11) is supplied with a quantity of pressure fluid by an adjustment pump (13) which is driven by a rotational-speed-controlled motor (14), wherein
  - a signal which indicates the pressure of the quantity of pressure fluid is fed back to a pressure controller (52) for actuating the adjustment pump (13), and
  - the motor (14) is operated in accordance with a rotational speed signal,**characterized in that**

the properties of the controller amplifier (522) of the pressure controller (52) are varied in accordance with the rotational speed signal.

2. Method according to Claim 1,  
**characterized in that**  
the amplification of the controller amplifier is set as a function of the rotational speed signal.
3. Method according to Claim 2,  
**characterized in that**  
when the rotational speed is reduced, the amplification of the controller amplifier is increased.
4. Method according to one of Claims 1 to 3,  
**characterized in that**  
the pressure controller (52) has a differentiator element (521) with a coefficient KD for differentiating the signal (pi) which indicates the pressure (p) of the quantity of pressure fluid,  
and the coefficient KD of the differentiator element (521) is set as a function of the rotational speed signal.
5. Method according to Claim 4,  
**characterized in that**  
when the rotational speed is reduced, the coefficient KD of the differentiator element (521) is set to relatively high values.
6. Method according to one of Claims 1 to 5,  
**characterized in that**  
the machine is a plastic-processing machine for injecting liquid plastic into a mould.
7. Controller for controlling a pressure fluid supply for a hydraulic actuator (11) of a machine, in particular a cyclically operating machine, in which the actuator (11) is supplied with a quantity of pressure fluid by an adjustment pump (13) which is driven by a rotational-speed-controlled motor (14),  
wherein the controller has the following:
  - a pressure controller (52) for actuating the adjustment pump (13),
  - a pressure converter (40) for conversion of the pressure of the quantity of pressure fluid into a feedback signal to the pressure controller (52), and
  - an adjustment device (33, 42) for operating the motor (14) in accordance with a rotational speed signal,**characterized by**  
a control-adaptation device (523) for adapting the properties of the pressure controller in accordance with the rotational speed signal.

8. Controller according to Claim 7,  
**characterized in that**  
the pressure controller (52) has a comparator (51) and a controller amplifier with a proportional element (522), and  
**in that** the control-adaptation device (523) is configured to set the coefficient of the proportional element as a function of the rotational speed signal.
9. Controller according to Claim 8,  
**characterized in that**  
the control-adaptation device (523) is configured to increase the coefficient (Kp) of the proportional element of the pressure controller when the rotational speed is reduced.
10. Controller according to one of Claims 7 to 9,  
**characterized in that**  
the pressure controller (52) has a differentiator element (521) with a coefficient KD for differentiating the signal (pi) which indicates the pressure (p) of the quantity of pressure fluid,  
and the control-adaptation device is set to adjust the coefficient KD of the differentiator element (521) as a function of the rotational speed signal.
11. Controller according to one of Claims 7 to 10,  
**characterized in that**  
a control-adaptation device (523) is configured to increase the coefficient KD of the differentiator element (521) when the rotational speed is reduced.
12. Controller according to one of Claims 7 to 11,  
**characterized in that**  
the machine is a plastic-processing machine and the pressure fluids are used to inject liquid plastic into a mould.
13. Assembly composed of a controller according to one of Claims 7 to 12 and an actuator (11), the supply of which with hydraulic pressure fluid is made available by means of the controller.

#### Revendications

1. Procédé de régulation d'une arrivée de fluide sous pression pour un actionneur hydraulique (11) d'une machine, procédé selon lequel l'actionneur (11) est alimenté avec une quantité de fluide sous pression par une pompe à cylindrée variable (13) entraînée par un moteur (14) à variation de vitesse,
  - un signal qui indique la pression de la quantité de fluide sous pression étant renvoyé à un régulateur de pression (52) afin de commander la pompe à cylindrée variable (13), et le moteur (14) fonctionnant conformément à un signal de

vitesse de rotation,

**caractérisé en ce que**

les propriétés de l'amplificateur de régulation (522) du régulateur de pression (52) varient conformément au signal de vitesse de rotation.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le gain de l'amplificateur de régulation est réglé en fonction du signal de vitesse de rotation.

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que**, lors de la réduction de la vitesse de rotation, le gain de l'amplificateur de régulation est augmenté.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le régulateur de pression (52) possède un élément dérivateur (521) doté d'un facteur de correction KD pour dériver le signal (pi) qui indique la pression (p) de la quantité de fluide sous pression, et le facteur de correction KD de l'élément dérivateur (521) est réglé en fonction du signal de vitesse de rotation.

5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce qu'**à une vitesse de rotation diminuée, le facteur de correction KD de l'élément dérivateur (521) est réglé à des valeurs plus élevées.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** la machine est une machine de transformation de matière plastique destinée à l'injection de matière plastique liquide dans un moule.

7. Dispositif de régulation destiné à réguler une arrivée de fluide sous pression pour un actionneur hydraulique (11) d'une machine, notamment à fonctionnement cyclique, dispositif dans lequel l'actionneur (11) est alimenté avec une quantité de fluide sous pression par une pompe à cylindrée variable (13) entraînée par un moteur (14) à variation de vitesse, le dispositif de régulation présentant les composants suivants :

- un régulateur de pression (52) destiné à commander la pompe à cylindrée variable (13),
- un convertisseur de pression (40) destiné à convertir la pression de la quantité de fluide sous pression en un signal de rétroaction vers le régulateur de pression (52), et
- un dispositif de réglage (33, 42) destiné à faire fonctionner le moteur (14) conformément à un signal de vitesse de rotation,

**caractérisé par**

un dispositif d'adaptation de la régulation (523) destiné à adapter les propriétés du régulateur de pression conformément au signal de vitesse de rotation.

8. Dispositif de régulation selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** le régulateur de pression (52) possède un comparateur (51) et un amplificateur de régulation muni d'un élément proportionnel (522), et **en ce que** le dispositif d'adaptation de la régulation (523) est conçu pour régler le facteur de correction de l'élément proportionnel en fonction du signal de vitesse de rotation.

9. Dispositif de régulation selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le dispositif d'adaptation de la régulation (523) est conçu pour augmenter le facteur de correction (Kp) de l'élément proportionnel du régulateur de pression lors d'une diminution de la vitesse de rotation.

10. Dispositif de régulation selon l'une des revendications 7 à 9, **caractérisé en ce que** le régulateur de pression (52) possède un élément dérivateur (521) avec un facteur de correction KD pour dériver le signal (pi) qui indique la pression (p) de la quantité de fluide sous pression, et le dispositif d'adaptation de la régulation est réglé pour régler le facteur de correction KD de l'élément dérivateur (521) en fonction du signal de vitesse de rotation.

11. Dispositif de régulation selon l'une des revendications 7 à 10, **caractérisé en ce qu'**un dispositif d'adaptation de la régulation (523) est conçu pour augmenter le facteur de correction KD de l'élément dérivateur (521) lorsque la vitesse de rotation est diminuée.

12. Dispositif de régulation selon l'une des revendications 7 à 11, **caractérisé en ce que** la machine est une machine de transformation de matière plastique et le fluide sous pression est utilisé pour injecter de la matière plastique liquide dans un moule.

13. Sous-ensemble constitué d'un dispositif de régulation selon l'une des revendications 7 à 12 et d'un actionneur (11) dont l'alimentation en fluide sous pression hydraulique est fournie à l'aide du dispositif de régulation.

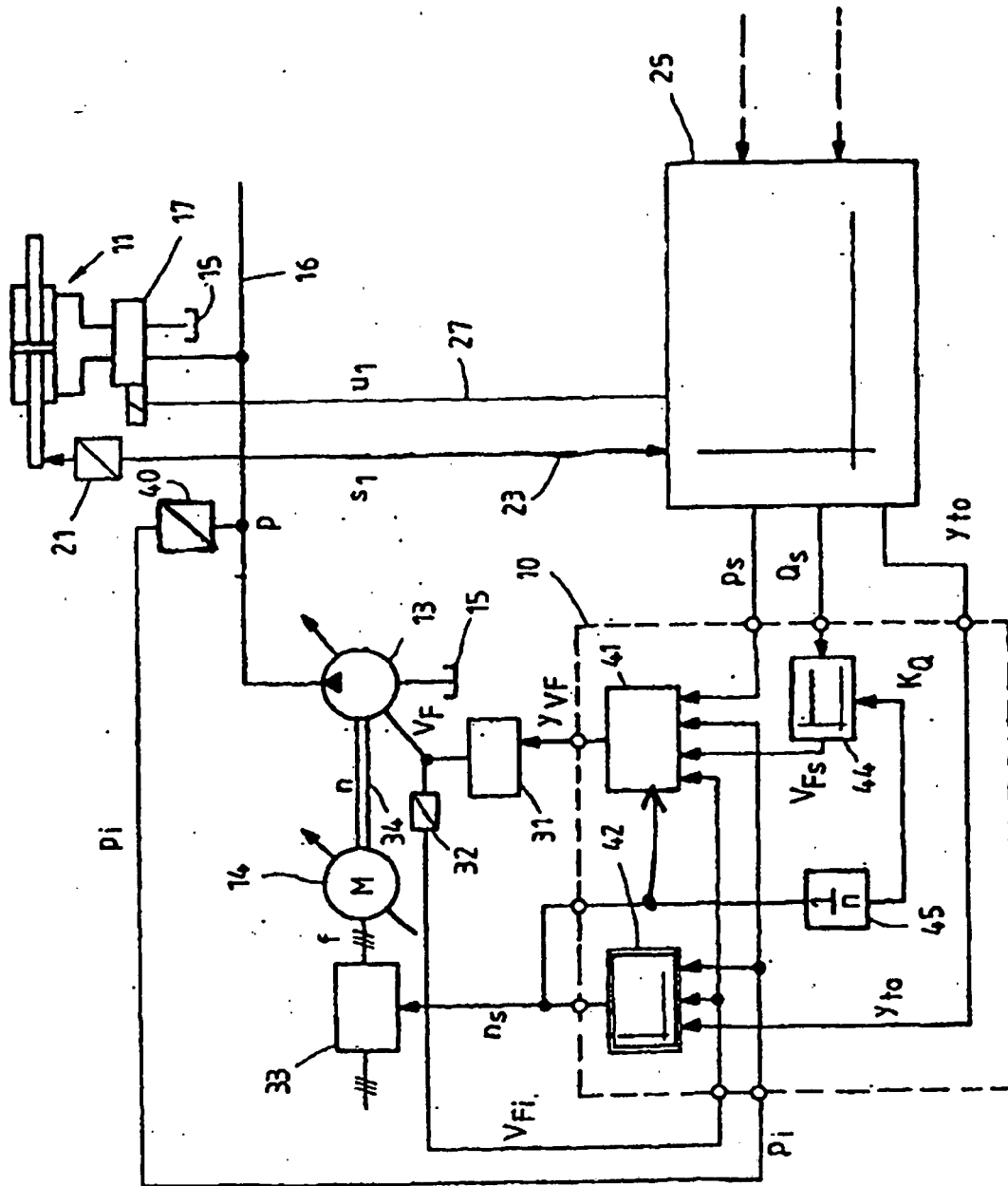


FIG.1

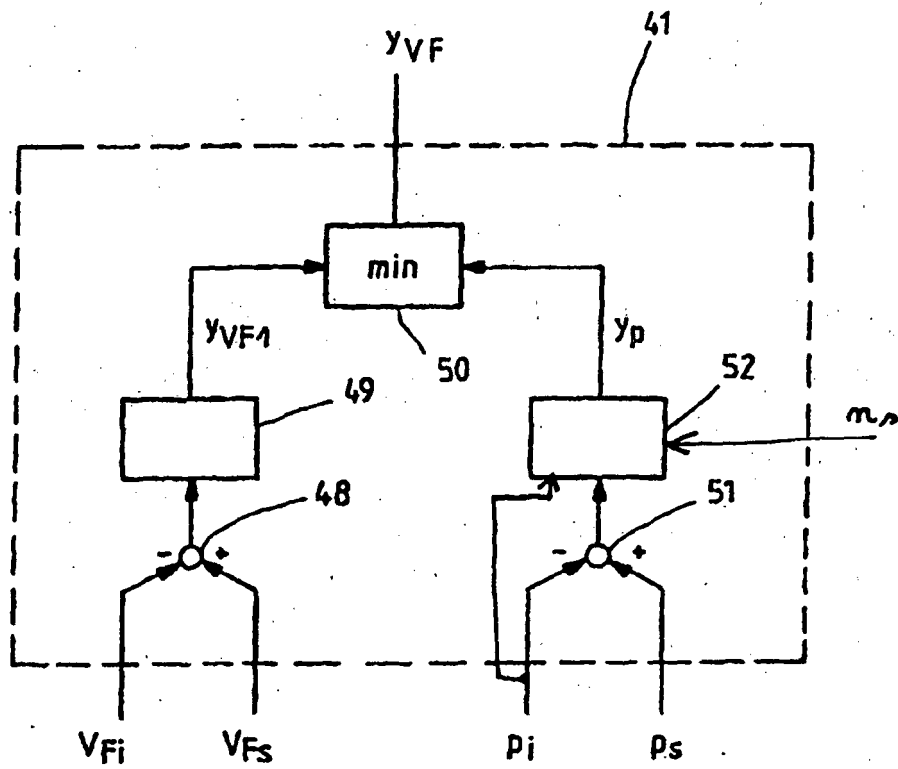


FIG. 2

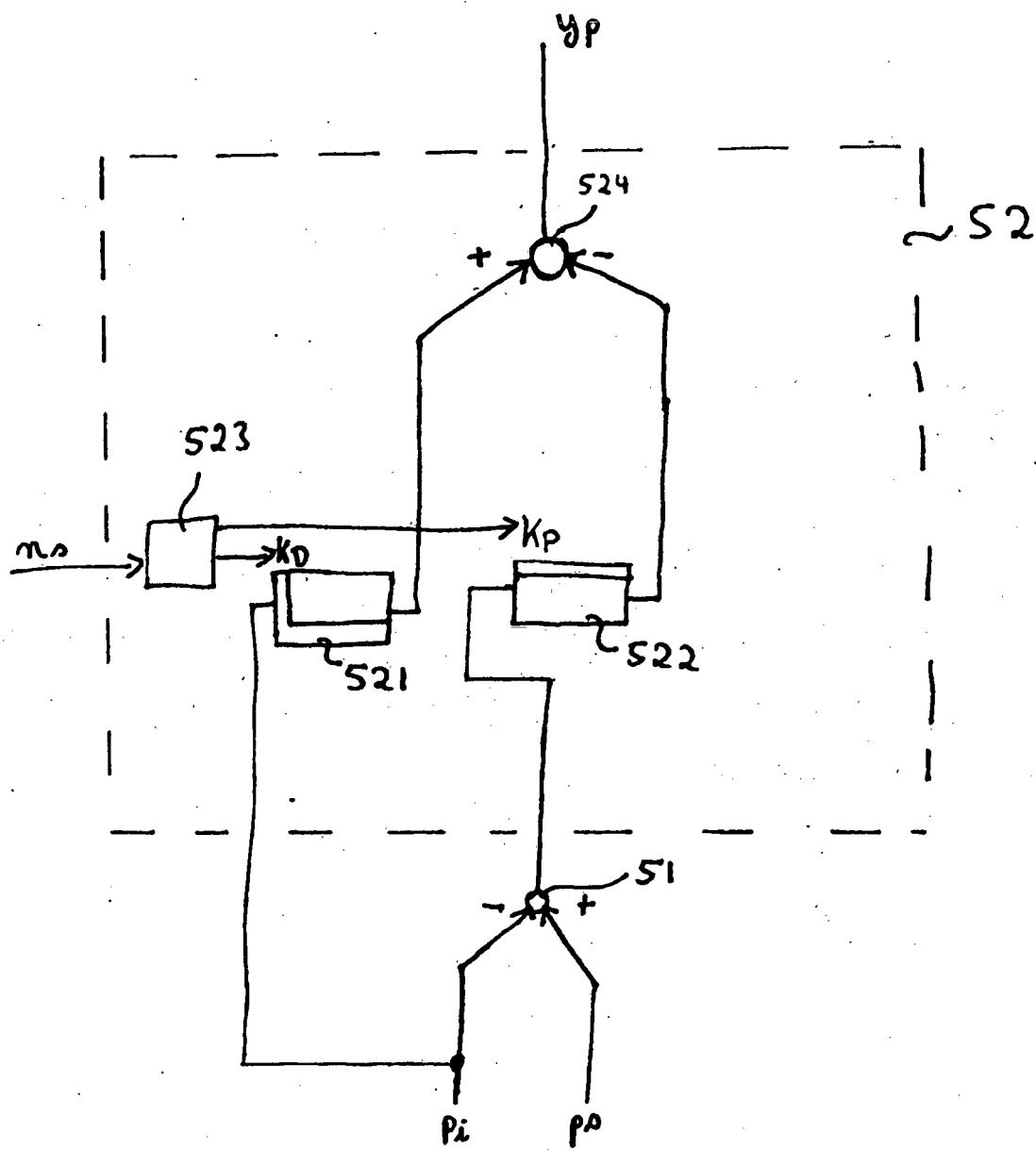


Fig. 3

**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 1236558 B1 [0002] [0006] [0031]