

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung von drehzahlvariablen Fluidpumpen, sowie ein Computerprogramm und eine Recheneinheit zur Durchführung des Verfahrens.

Hintergrund der Erfindung

[0002] In der Hydraulik werden häufig Fluidpumpen mit einem Förderwerk mit festem Fördervolumen verwendet, welches von einem Antrieb mit variabler Drehzahl angetrieben wird (sog. drehzahlvariable Konstantpumpe). Beim Betrieb solcher Pumpen werden üblicherweise der Volumenstrom und/oder der Förderdruck durch entsprechende Anpassung der Drehzahl geregelt. Solche Pumpen werden beispielsweise für Hydraulikaggregate, Pumpenantriebe oder servohydraulische Aktoren genutzt, etwa in Werkzeugmaschinen oder bei der Kunststoffbearbeitung, wie z.B. in Spritzgussmaschinen, Blasformmaschinen, Pressen usw., wo hohe Förderdrücke gefordert sind.

[0003] Die Regelung solcher drehzahlvariablen Pumpen kann beispielsweise durch eine kaskadierte Reglerstruktur umgesetzt werden, bei der ein Soll-Druck vorgegeben wird und einen Druckregelkreis, einen Drehzahlregelkreis und einen Stromregelkreis für den Antriebsmotor umfasst. Der Drehzahlregelkreis wird dabei jedoch vom Lastmoment M_L gestört, welches sich in Abhängigkeit vom aktuellen Druck über das Pumpenschluckvolumen einstellt. Der Druckregelkreis wird außerdem vom Leckagevolumenstrom der Pumpe gestört. Diese Störungen verschlechtern die Regelgüte des Antriebssystems.

[0004] Es ist daher wünschenswert, die Regelung drehzahlvariablen Fluidpumpen zu verbessern.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Regelung einer Pumpe mit einem drehzahlvariablen Antrieb mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0006] Insbesondere wird ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem zunächst ein Soll-Druckwert in eine kaskadierte Reglerstruktur eingegeben wird, wobei die Reglerstruktur einen Druckregelkreis umfasst und wobei die Regelstrecke des Druckregelkreises einen Drehzahlregelkreis umfasst, in welchen eine Soll-Drehzahl als Stellgröße eines Druckreglers des Druckregelkreises eingegeben wird. Die Regelstrecke des Drehzahlregelkreises umfasst außerdem einen Antriebsregelkreis, in welchen ein Soll-Antriebsmoment als Stellgröße eines Drehzahlreglers des Drehzahlregelkreises eingegeben wird. Außerdem wird ein Vorsteuerwert für das Antriebsmoment als Ergebnis einer zeitlichen Differentialgleichung des Soll-Drucks gebildet, und dieser Vorsteuerwert wird zu dem Soll-Antriebsmoment addiert, welches in die Regelstrecke des Drehzahlregelkreises eingegeben wird.

[0007] Bevorzugt kann die zeitliche Differentialgleichung des Soll-Drucks in beispielhaften Ausführungsformen ein inverses Streckenmodell der Regelstrecke der kaskadierten Reglerstruktur umfassen.

[0008] Dieses inverse Streckenmodell kann beispielsweise gebildet werden in Abhängigkeit von einer Druckdynamik in einem Lastvolumen, in welchem der Druck geregelt wird, und einer Drehmomentdynamik des Antriebs.

[0009] Der Vorsteuerwert für das Antriebsmoment kann in beispielhaften Ausführungsformen durch die folgende Gleichung bestimmt werden:

$$M_{cmd}^{ff} = \frac{J_{eq} 2\pi C_h}{V_g} \ddot{p}_L^d + \frac{2\pi}{V_g} (J_{eq} C_l + d_M C_h) \dot{p}_L^d + \left(\frac{d_M 2\pi C_l}{V_g} + \frac{V_g}{2\pi} \right) p_L^d$$

[0010] Es ist außerdem möglich, auch für die Drehzahl einen Vorsteuerwert zu bilden, wobei der Vorsteuerwert für die Drehzahl bestimmt wird durch:

$$n_{cmd}^{ff} = \frac{C_h}{V_g} \dot{p}_L^d + \frac{C_l}{V_g} \cdot p_L^d$$

[0011] Dieser Vorsteuerwert kann dann zu der Soll-Drehzahl addiert werden, die von dem Druckregler als Stellgröße ausgegeben wird. Damit kann vermieden werden, dass der Drehzahlregelkreis gegen die Drehmoment-Vorsteuerung arbeitet.

[0012] Optional kann der Soll-Druckwert in einen Sollwertfilter eingegeben werden, welcher dazu eingerichtet ist, eine Solltrajektorie für den Soll-Druckwert und die Ableitungen des Soll-Druckwerts auszugeben, und diese Solltrajektorie kann dann in die Differentialgleichung zum Bilden des Vorsteuerwerts eingegeben werden.

[0013] Ein solcher Sollwertfilter kann beispielsweise einen Zustandsvariablen-Binomialfilter zweiter Ordnung umfassen.

[0014] Insgesamt wird durch die hier vorgeschlagene flachheitsbasierte Vorsteuerung Lastmomente und Störvolmenströme dynamisch kompensiert. Dadurch wird das Führungsverhalten und die Stabilitätsreserve des Systems verbessert. Der Antriebsregler kann auf Störfestigkeit ausgelegt werden, da das Folgeverhalten durch die Vorsteuerung deutlich verbessert wird. Drehzahl und Druckregler werden dadurch entlastet. Gleichzeitig ist die Vorsteuerung unempfindlich gegen Sensorrauschen.

[0015] Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät eines Hydrauliksystems ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

[0016] Auch die Implementierung eines erfindungsgemäßen Verfahrens in Form eines Computerprogramms oder Computerprogrammprodukts mit Programmcode zur Durchführung aller Verfahrensschritte ist vorteilhaft, da dies besonders geringe Kosten verursacht, insbesondere wenn ein ausführendes Steuergerät noch für weitere Aufgaben genutzt wird und daher ohnehin vorhanden ist. Geeignete Datenträger zur Bereitstellung des Computerprogramms sind insbesondere magnetische, optische und elektrische Speicher, wie z.B. Festplatten, Flash-Speicher, EEPROMs, DVDs u.a.m. Auch ein Download eines Programms über Computernetze (Internet, Intranet usw.) ist möglich.

[0017] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0018] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachfolgend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0019] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

Figurenbeschreibung

[0020]

Figur 1 zeigt schematisch eine Fluidpumpe mit einem drehzahlvariablen Antrieb; und

Figur 2 zeigt eine beispielhafte Reglerstruktur gemäß einer möglichen Ausführungsform.

Detaillierte Beschreibung der Zeichnung

[0021] Figur 1 zeigt schematisch Bestandteile einer drehzahlvariablen Fluidpumpe, für welche die hier beschriebenen Verfahren angewendet werden können. Die Pumpe 10 verfügt in diesem Beispiel über ein Förderwerk 20, welches in zwei Richtungen fördern kann, einen drehzahlvariablen Antrieb 30 und eine Recheneinheit 40 zum Betrieb der Pumpe.

[0022] Das Förderwerk 20 kann beispielsweise als Konstantpumpe ausgebildet sein, die ein bestimmtes Fördervolumen pro Hub bzw. pro Umdrehung erreicht. Der Antrieb 30 ist hier als Normmotor ausgebildet, der einen Asynchronmotor 31 und einen Frequenzumrichter 32 aufweist. Alternativ können auch Synchron-Servomotoren oder andere Antriebseinheiten eingesetzt werden. Die Drehzahl n des Asynchronmotors 31 ist variabel, wobei die Drehzahl beispielsweise durch den an den Antriebsmotor 31 angelegten Strom eingestellt wird.

[0023] Für die Regelung der Pumpe 10 kann die Recheneinheit 40 dienen, der mindestens ein Soll-Förderdruck und optional ein Soll-Volumenstrom zugeführt werden. Die Recheneinheit 40 kann einen hardwaretechnisch oder softwaretechnisch umgesetzten Antriebsregler umfassen, welcher die erforderlichen Stellgrößen bestimmt und an den Motor 30 übermittelt. Optional ist eine Bestimmung des Ist-Drucks über einen Sensor möglich. Dabei kann die Recheneinheit 40 weiter bestimmen, z.B. durch Überwachung des elektrischen Stroms und der Drehzahl, welches Antriebsmoment von dem Antrieb derzeit geliefert wird, und kann dann beispielsweise eine Soll-Drehzahl an die Antriebseinheit 30 als Stellsignal übermitteln. Alternativ ist es auch möglich, dass die Antriebseinheit 30 selbst gewisse Steuerungs- oder Regelungselemente umfasst und damit von der Recheneinheit 40 beispielsweise nur ein Soll-Moment zur Ansteuerung des Antriebs und damit der Pumpe angegeben wird und als Stellsignal an den Antrieb 30 übermittelt wird.

[0024] Es versteht sich, dass dieses Pumpen-Antriebs-System nur beispielhaft beschrieben ist und die nachstehend beschriebenen Reglervarianten nicht auf dieses System beschränkt sind. Insbesondere kann die vorliegende Erfindung auch mit beliebigen anderen Pumpen angewendet werden und ist nicht auf Konstantpumpen eingeschränkt. Ebenso ist es möglich, dass bestimmte Teile der kaskadierten Reglerstruktur in mehreren separaten Recheneinheiten umgesetzt werden, dass bestimmte Sensoren in anderen Systemen nicht vorhanden sind oder zusätzliche Parameter über Sensoren gemessen werden, oder dass auch die Antriebseinheit anders ausgebildet ist als hier beschrieben.

[0025] Figur 2 zeigt eine Reglerstruktur zur Regelung einer drehzahlvariablen Fluidpumpe gemäß einer möglichen Ausführungsform.

[0026] Dabei ist eine kaskadierte Reglerstruktur vorgesehen, welche ineinander geschachtelt einen Druckregelkreis, einen Drehzahlregelkreis und einen Antriebsregelkreis wie etwa einen Stromregelkreis umfasst. Der Stromregelkreis 230 für den Pumpenantrieb ist hier nur vereinfacht und beispielhaft dargestellt und kann auf beliebige Weise umgesetzt werden, z.B. als PI-Regler; bei einer anderen Antriebsvariante kann an dieser Stelle auch ein anderer Regelkreis genutzt werden, der ein Antriebsmoment eines Pumpenantriebs regelt. Der Stromregelkreis 230 erhält ein Soll-Antriebsmoment M_{cmd}^R als Führungsgröße und führt den Ist-Wert 232 des Antriebsmoments M_{act} zurück. Somit wird ein geregeltes Antriebsmoment M_M erhalten.

[0027] Das Soll-Antriebsmoment M_{cmd}^R wiederum ist die Stellgröße eines Drehzahlregelkreises. Der Drehzahlregelkreis erhält eine Soll-Drehzahl n_{cmd} der Pumpe als Führungsgröße für einen Drehzahlregler 220 und führt eine tatsächliche Drehzahl n_{act} zurück 222, wobei der Stromregelkreis 230 zusammen mit dem Trägheitsmomentglied 224, welches aus dem Antriebsmoment M_M mit dem Trägheitsmoment von Pumpe und Motor die geregelte Drehzahl n ausgibt, die Regelstrecke des Drehzahlregelkreises bildet.

[0028] Die Soll-Drehzahl n_{cmd} bildet dabei die Stellgröße eines Druckregelkreises, dessen Druckregler 210 als Führungsgröße einen Soll-Lastdruck p_L^d erhält und einen Ist-Wert p_L des Lastdrucks zurückführt 212. Die Regelstrecke des Druckregelkreises umfasst damit den Drehzahlregelkreis 220, 222, 224, den Stromregelkreis 230, 232 sowie weitere Regelglieder. Die weiteren Regelglieder der Strecke umfassen ein Proportionalglied 214, um die aus dem Drehzahlregelkreis erhaltene geregelte Drehzahl n durch Berücksichtigung des vorgegebenen Schluckvolumens V_g der Pumpe pro Umdrehung in einen Volumenstrom Q_p zu überführen. Anschließend wird mittels eines PI-Glieds 216 aus dem Volumenstrom Q_p durch Berücksichtigung des Ersatzkompressionsmoduls $E'_{öl}$ und des Lastvolumens V_L , in dem der Druck geregelt wird, der geregelte Lastdruck p_L erhalten. Der Ist-Druck p_{act} wird wiederum über den Druckregelkreis zurück 212 zum Eingang des Druckreglers 210 geführt.

[0029] Dabei wird der Drehzahlregelkreis durch ein Lastmoment M_L gestört, welches aus dem vorliegenden Lastdruck p_L und dem Schluckvolumen V_g der Pumpe als Proportionalglied 240 abgebildet werden kann. Das resultierende Lastmoment M_L wirkt dem Antriebsmoment M_M entgegen.

[0030] Außerdem wird der Druckregelkreis durch den Leckagevolumenstrom Q_L der Pumpe gestört, der sich aus dem Lastdruck p_L und dem Leckagebeiwert C_l ergibt und als Proportionalglied 242 modelliert werden kann. Der Leckagevolumenstrom Q_L wirkt dem Volumenstrom Q_p der Pumpe entgegen.

[0031] Um diese Störungen auszugleichen, kann nun erfindungsgemäß eine Vorsteuerung 250 vorgesehen sein, die das kommandierte Antriebsmoment M_{cmd}^R für den Pumpenantrieb, welches von dem Drehzahlregler 220 als Stellgröße ausgegeben wird und in den Stromregelkreis 230 als Führungsgröße eingeht, durch einen Vorsteuerwert M_{cmd}^{ff} korrigiert. Der tatsächliche Wert, der damit in den Stromregelkreis bzw. die Regelstrecke des Drehzahlregelkreises eingegeben wird, ist also die Summe aus dem Antriebsmoment M_{cmd}^R und dem Vorsteuerwert M_{cmd}^{ff} .

[0032] Der Vorsteuerwert kann dabei insbesondere über ein inverses Streckenmodell der Regelstrecke gebildet werden. Dieses Streckenmodell kann entsprechend der in Figur 2 gezeigten Reglerstruktur wie folgt hergeleitet werden: Die Druckdynamik im Lastvolumen, d.h. die Veränderung p_L des Lastdrucks ergibt sich zu

$$\dot{p}_L = \frac{1}{C_h} \cdot \left(\frac{V_g}{2\pi} \cdot \omega_M - C_l \cdot p_L \right) \quad (1)$$

wobei $C_h = V_L / E'_{öl}$ die hydraulische Kapazität mit dem Ersatzkompressionsmodul $E'_{öl}$ und dem Lastvolumen V_L ist, V_g das Schluckvolumen der Pumpe ist, ω_M das Drehmoment des Antriebs ist, und C_l der druckabhängige Leckagebeiwert ist.

[0033] Durch Ableiten nach der Zeit erhält man dann

$$\ddot{p}_L = \frac{1}{C_h} \cdot \left(\frac{V_g}{2\pi} \cdot \dot{\omega}_M - C_l \cdot \dot{p}_L \right) \quad (2)$$

[0034] Die Drehmomentdynamik an der Motor-Pumpenwelle lautet:

$$\dot{\omega}_M = \frac{1}{J_{eq}} \left(M_M - \frac{V_g}{2\pi} p_L - d_M \omega_M \right) \quad (3)$$

wobei J_{eq} das äquivalente Trägheitsmoment ist, das sich aus den Trägheitsmomenten J_{Pumpe} der Pumpe und J_{Motor} des Antriebsmotors ergibt, $J_{eq} = J_{Pumpe} + J_{Motor}$; wobei M_M das Antriebsmoment ist;

wobei V_g das Schluckvolumen der Pumpe ist, und
wobei d_M ein drehzahlbezogenes Reibmoment der Pumpe ist.

[0035] Setzt man Gleichung (3) in Gleichung (2) ein, ergibt sich:

$$\ddot{p}_L = \frac{1}{C_h} \cdot \left(\frac{V_g}{2\pi} \cdot \frac{1}{J_{eq}} \left(M_M - \frac{V_g}{2\pi} p_L - d_M \omega_M \right) - C_l \cdot \dot{p}_L \right) \quad (4)$$

[0036] Man erhält also eine Differentialgleichung zweiter Ordnung, die das Streckenmodell wiedergibt. Das inverse Streckenmodell kann nun als flachheitsbasierte Vorsteuerung 250 eines additiven Drehmoments zur Trajektorienfolge einer geforderten Druckdynamik $[p_L, \dot{p}_L, \ddot{p}_L]$ verwendet werden. Dazu kann Gleichung (4) mit Hilfe der Gleichung (1) nach dem Antriebsmoment umgestellt werden, so dass sich das Vorsteuergesetz als inverses Streckenmodell ergibt:

$$M_{cmd}^{ff} = \frac{J_{eq} 2\pi C_h}{V_g} \ddot{p}_L^d + \frac{2\pi}{V_g} (J_{eq} C_l + d_M C_h) \dot{p}_L^d + \left(\frac{d_M 2\pi C_l}{V_g} + \frac{V_g}{2\pi} \right) p_L^d \quad (5)$$

[0037] Da es sich um einen kaskadierten Regelkreis handelt, kann dem überlagerten Drehzahlregelkreis optional zusätzlich das Vorsteuersignal zugeführt werden, aus dem sich die Momentenvorsteuerung herleitet. Damit kann verhindert werden, dass der Drehzahlregelkreis gegen die Drehmoment-Vorsteuerung arbeitet. Das entsprechende Vorsteuersignal kann über die aus Gleichung (1) berechnet werden, indem die Gleichung nach der Drehfrequenz ω_{cmd}^{ff} bzw. nach der Drehzahl aufgelöst wird:

$$n_{cmd}^{ff} = \frac{C_h}{V_g} \dot{p}_L^d + \frac{C_l}{V_g} \cdot p_L^d \quad (6)$$

[0038] Dieser Vorsteuerwert kann dann also zusätzlich auf den Eingang des Drehzahlregelkreises addiert werden.

[0039] Zur Realisierung der Vorsteuerung 250 können die zeitlichen Ableitungsgrößen des Soll-drucks $[p_L, \dot{p}_L, \ddot{p}_L]$ durch einen Sollwertfilter 260 bestimmt werden. Dazu kann beispielsweise ein Zustandsvariablen-Binomial-Filter zweiter Ordnung verwendet werden. Als Beispiel kann die Solltrajektorie nach der folgenden Differentialgleichung bestimmt werden:

$$\ddot{p}_L^d = \frac{1}{\tau^2} p_{cmd} - \frac{2}{\tau} \dot{p}_L^d - \frac{1}{\tau^2} \ddot{p}_L \quad (7)$$

wobei τ die Zeitkonstante des Sollwertfilters ist. Grundsätzlich können die Soll-druckwerte aber auch anders bestimmt werden. Dabei ist p_{cmd} der kommandierte Soll-druckwert.

[0040] Die aus Gleichung (7) erhaltene Solltrajektorie kann nun in das Vorsteuergesetz, Gleichung (5), eingesetzt werden, und das damit berechnete Vorsteuer-Momen M_{cmd}^{ff} kann additiv auf den Eingang des Stromregelkreises 230 gerechnet werden. Ebenso können die Solltrajektorien in das Vorsteuergesetz (6) für die Drehzahl eingesetzt werden.

[0041] Eine einfachere Alternative zur Vorsteuerung für den Antriebsregler besteht darin, nur das Lastmoment M_L , 240 auszugleichen, so dass sich der Vorsteuerwert für das Antriebsmoment in dieser Variante zu $M_{cmd}^{ff} = (V_g / 2\pi) p_{cmd}$ aus dem kommandierten Soll-druckwert ergibt. Ein Sollwertfilter ist in diesem Fall nicht erforderlich. Der Vorsteuerwert wird dann wie in der vorherigen Ausführungsform auf den Ausgangswert des Drehzahlreglers 220 bzw. den Eingangswert des Stromregelkreises 230 addiert.

[0042] Durch die Anwendung der erfindungsgemäßen modellbasierten Vorsteuerung verbessert sich das Führungsverhalten der Regelung, da das Stellglied (d.h. der Antriebsmotor der Pumpe) sofort hochdynamisch reagiert, auch wenn keine große Regelabweichung auftritt.

[0043] Auch das Folgeverhalten der Antriebsregelung (d.h. des Stromregelkreises) wird durch die Vorsteuerung deutlich verbessert. Drehzahl- und Druckregler werden dadurch entlastet. Gleichzeitig ist die Vorsteuerung unempfindlich gegenüber Sensorrauschen.

[0044] Eine Regelung wie hier beschrieben kann für alle drehzahlvariablen Pumpen genutzt werden, insbesondere für Pumpen zur Ansteuerung von Hydraulikaggregaten oder hydraulischen Aktoren. Auch für die Kraftregelung servo-

hydraulischer Aktoren kann das beschriebene Verfahren mit Vorsteuerung angewendet werden; in diesem Fall wird ebenfalls über eine Motor-Pumpeneinheit ein Druck geregelt, welcher dann über die Zylinderflächen in einen Kraftwert umgerechnet werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Pumpe mit einem drehzahlvariablen Antrieb, umfassend:

Eingeben eines Soll-Druckwerts (p_{cmd}) in eine kaskadierte Reglerstruktur, wobei die Reglerstruktur einen Druckregelkreis (210, 212, 214, 216) umfasst, wobei die Regelstrecke des Druckregelkreises einen Drehzahlregelkreis (220, 222, 224) umfasst, in welchen eine Soll-Drehzahl als Stellgröße eines Druckreglers (210) des Druckregelkreises eingegeben wird; wobei die Regelstrecke des Drehzahlregelkreises einen Antriebsregelkreis (230, 232) umfasst, in welchen ein Soll-Antriebsmoment als Stellgröße eines Drehzahlreglers (220) des Drehzahlregelkreises eingegeben wird; Bilden (250) eines Vorsteuerwerts (M_{cmd}^{ff}) für das Antriebsmoment als Ergebnis einer zeitlichen Differentialgleichung des Solldrucks; und Addieren des Vorsteuerwerts zu dem Soll-Antriebsmoment, welches in die Regelstrecke des Drehzahlregelkreises eingegeben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die zeitliche Differentialgleichung des Solldrucks ein inverses Streckenmodell der Regelstrecke der kaskadierten Reglerstruktur umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das inverse Streckenmodell gebildet wird in Abhängigkeit von einer Druckdynamik in einem Lastvolumen, in welchem der Druck geregelt wird, und einer Drehmomentdynamik des Antriebs.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Vorsteuerwert für das Antriebsmoment bestimmt wird durch:

$$M_{cmd}^{ff} = \frac{J_{eq} 2\pi C_h}{V_g} \ddot{p}_L^d + \frac{2\pi}{V_g} (J_{eq} C_l + d_M C_h) \dot{p}_L^d + \left(\frac{d_M 2\pi C_l}{V_g} + \frac{V_g}{2\pi} \right) p_L^d$$

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend: Bilden eines Vorsteuerwerts für die Drehzahl, wobei der Vorsteuerwert für die Drehzahl bestimmt wird durch:

$$n_{cmd}^{ff} = \frac{C_h}{V_g} \dot{p}_L^d + \frac{C_l}{V_g} \cdot p_L^d$$

und Addieren des Vorsteuerwerts zu der Soll-Drehzahl, die von dem Druckregler (210) als Stellgröße ausgegeben wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter umfassend:

Eingeben des Soll-Druckwerts in einen Sollwertfilter, welcher dazu eingerichtet ist, eine Solltrajektorie für den Soll-Druckwert und die Ableitungen des Soll-Druckwerts auszugeben, und Eingeben der Solltrajektorie in die Differentialgleichung zum Bilden des Vorsteuerwerts.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Sollwertfilter einen Zustandsvariablen-Binomialfilter zweiter Ordnung umfasst.

8. Recheneinheit umfassend einen Prozessor, der so konfiguriert ist, dass er das Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche ausführt.

9. Computerprogramm umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, das Verfahren nach Anspruch 1 bis 7 auszuführen.

10. Computerlesbarer Datenträger, auf dem das Computerprogramm nach Anspruch 9 gespeichert ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

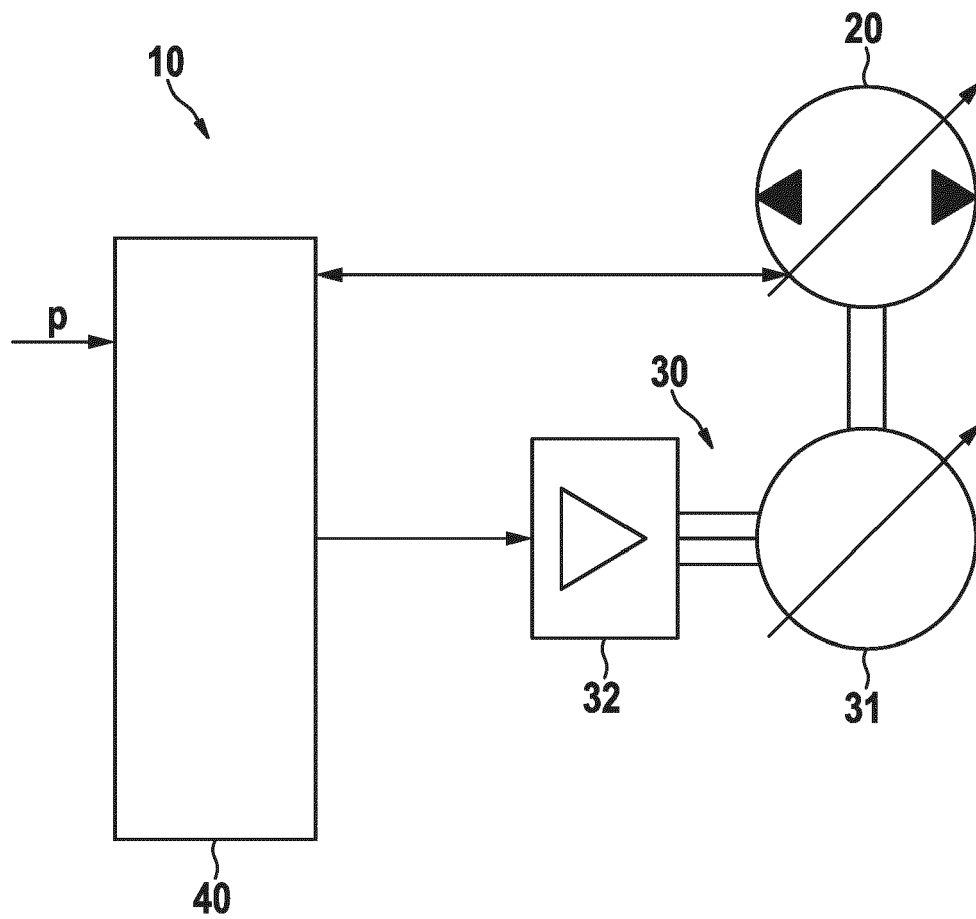


Fig. 1

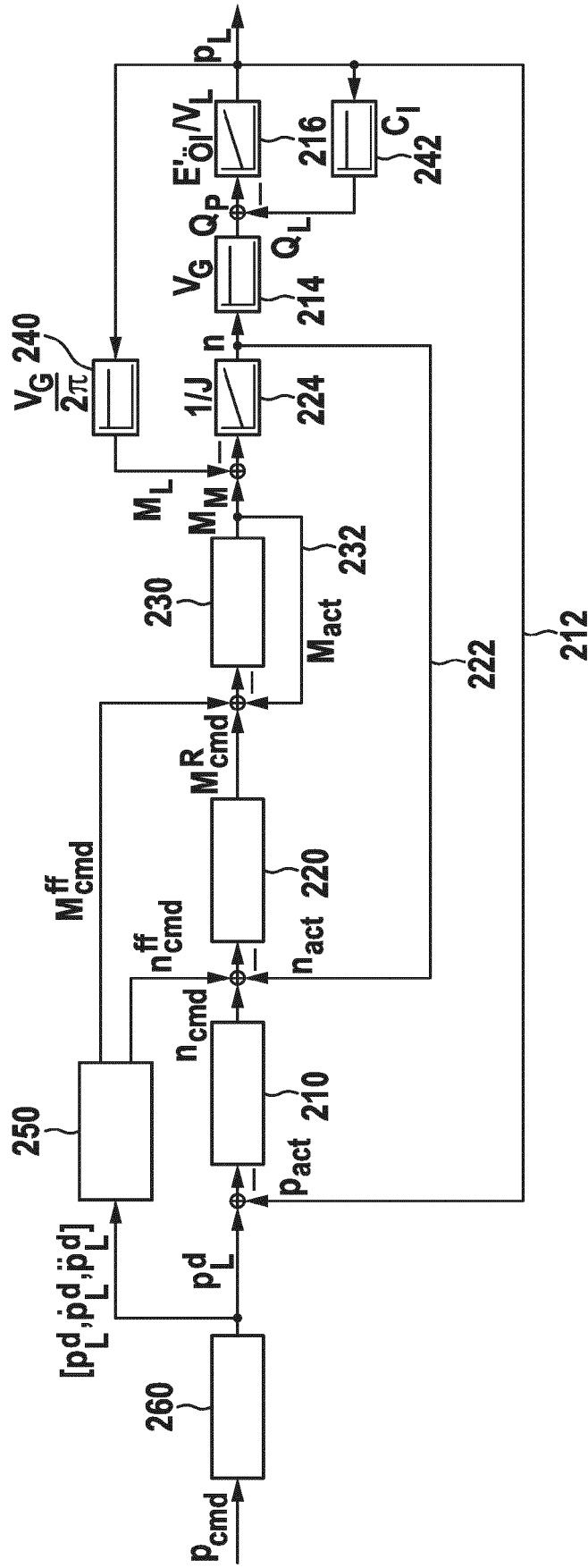


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 18 0502

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 2018/207157 A2 (EATON INTELLIGENT POWER LTD [IE]) 15. November 2018 (2018-11-15)	1-4, 6-10	INV.
Y	* Abbildungen 1-2 *	5	F04B17/03
	* Absatz [0017] - Absatz [0053] *		F04B49/06
	-----		F04B49/20
Y	DE 10 2019 220322 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 24. Juni 2021 (2021-06-24)	5	
A	* Abbildungen 1-3 *	1-4, 6-10	
	* Absatz [0027] - Absatz [0041] *		

A	US 2014/294601 A1 (O'SHEA COLIN PATRICK [US] ET AL) 2. Oktober 2014 (2014-10-02)	1-10	
	* Abbildungen 8-1 - 8-6 *		
	* Absatz [0031] - Absatz [0039] *		

A	US 2012/121438 A1 (SAH JY-JEN F [US] ET AL) 17. Mai 2012 (2012-05-17)	1-10	
	* Abbildungen 1-4 *		
	* Absatz [0014] - Absatz [0034] *		

A	DE 10 2015 221684 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 11. Mai 2017 (2017-05-11)	1-10	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
	* Abbildungen 1-3 *		F04B
	* Absatz [0024] - Absatz [0039] *		

A	DE 10 2005 039758 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 1. März 2007 (2007-03-01)	1-10	
	* Abbildungen 1-4 *		
	* Absatz [0024] - Absatz [0060] *		

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
München		19. Oktober 2023	
		Prüfer	
		Ricci, Saverio	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze	
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie		E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	
A : technologischer Hintergrund		D : in der Anmeldung angeführtes Dokument	
O : nichtschriftliche Offenbarung		L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument	
P : Zwischenliteratur		& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 23 18 0502

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

19-10-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2018207157 A2	15-11-2018	KEINE	
DE 102019220322 A1	24-06-2021	CN 113007055 A	22-06-2021
		DE 102019220322 A1	24-06-2021
		EP 3839256 A1	23-06-2021
US 2014294601 A1	02-10-2014	EP 2968709 A2	20-01-2016
		EP 3626485 A1	25-03-2020
		US 2014294601 A1	02-10-2014
		US 2014294625 A1	02-10-2014
		US 2014297113 A1	02-10-2014
		US 2014297116 A1	02-10-2014
		US 2014297117 A1	02-10-2014
		US 2018154723 A1	07-06-2018
		WO 2014145018 A2	18-09-2014
US 2012121438 A1	17-05-2012	CN 102465868 A	23-05-2012
		DE 102011118063 A1	02-08-2012
		US 2012121438 A1	17-05-2012
DE 102015221684 A1	11-05-2017	KEINE	
DE 102005039758 A1	01-03-2007	CN 1940270 A	04-04-2007
		DE 102005039758 A1	01-03-2007
		FR 2890118 A1	02-03-2007

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82