



(11)

EP 2 192 309 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
05.04.2017 Patentblatt 2017/14

(51) Int Cl.:
F15B 11/02 ^(2006.01) **F15B 9/04** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09014791.9**

(22) Anmeldetag: **27.11.2009**

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

Method and control circuit for regulating a supply of pressure fluid for a hydraulic actuator

Procédé et circuit de réglage destinés au réglage d'une alimentation en fluide sous pression 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 102008059677**

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

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

(72) Erfinder:
• **Koeckemann, Albert
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 2 192 309 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. Innerhalb des 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, auch die Drehzahl des Elektromotors an den angeforderten Druck oder den angeforderten Volumenstrom 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 gezeigt, dass die Verwendung des Drehzahl-Profiles dafür sorgt, dass die Regelung energieeffizienter wird, allerdings dauern die Einschwingvorgänge relativ lange.

[0003] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Regelungsvorrichtung zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für einen hydraulischen Aktor bereitzustellen, bei dem Abweichungen des Drucks bzw. der Fördermenge präzise und schnell ausgeglichen werden können.

[0004] Diese Aufgabe wird mit dem Gegenstand des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0005] Erfindungsgemäß wird ein Verfahren zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für einen hydraulischen Aktor einer zyklisch arbeitenden Maschine bereitgestellt. Der Aktor wird von einer Verstellpumpe mit einer Druckmittelmenge versorgt, wobei die Verstellpumpe von einem drehzahlgesteuerten Elektromotor angetrieben wird. Der Druck bzw. die Druckmittelmenge wird von einem Pumpenregler durch Ansteuern der Volumeneinstellung der Verstellpumpe geregelt. Das Verfahren weist einen Schritt des Erstellens eines Drehzahl-Profiles zum Verändern der Drehzahl des Elektromotors während eines Zyklus auf. Zudem ist ein Schritt des Ansteuerns der Drehzahl des Elektromotors und der Volumeneinstellung der Verstellpumpe, bei dem innerhalb eines Zyklus der Maschine der Elektromotor mit einem Vorgabewert für die Drehzahl gemäß dem erstellten Drehzahl-Profil angesteuert wird, vorgesehen.

[0006] Es ist zudem ein Schritt des Ermitteln eines Druck/ Volumenstrom-Profiles für die Druckmittelmenge und ein Schritt des Ermitteln der Drehzahlabweichung des Elektromotors vorgesehen. Die Drehzahlabweichung ergibt sich aus der Abweichung der Drehzahl des Elektromotors von einem Sollwert für die Drehzahl, wobei die Drehzahlabweichung anhand des ermittelten Druck/Volumenstrom-Profiles ermittelt wird. Der Schritt des Ansteuerns der Drehzahl des Elektromotors und der Volumeneinstellung der Verstellpumpe erfolgt in Abhän-

gigkeit von der ermittelten Drehzahlabweichung. Eine Drehzahlabweichung kann beispielsweise durch Schlupf bedingt sein oder durch Nachlauf des Motors aufgrund von Beschleunigungsvorgängen. Dabei kann beispielsweise der Vorgabewert für die Drehzahl oder die Volumeneinstellung der Verstellpumpe in Abhängigkeit von der ermittelten Drehzahlabweichung erfolgen. Es ist auch möglich, die Ansteuerung sowohl der Drehzahl als auch die Ansteuerung der Volumeneinstellung von der ermittelten Drehzahlabweichung abhängig zu machen.

[0007] Beim Betrieb eines Elektromotors entsteht üblicherweise Schlupf, das heißt eine Abweichung der Drehzahl des Rotors von einem Vorgabewert. Bei einer asynchronen Maschine ist der Schlupf die Drehzahldifferenz zwischen dem Drehfeld des Stators und dem Läufer. Besonders bei niedrigen Drehzahlen macht sich der Schlupf des Motors stark bemerkbar, so dass die Drehzahl, mit der die Verstellpumpe getrieben wird, von der Drehzahl, die vom Drehzahlprofil vorgegeben ist, prozentual stark abweicht. Aufgrund dieses Schlupfs wird bei der Anforderung von Druckmittel dieses langsamer bereitgestellt, als es beabsichtigt ist. Dadurch erfolgt die Regelung nicht nur langsamer, sondern erfolgt abweichend von dem berechneten energetischen Minimum.

[0008] Durch die Berücksichtigung der Drehzahlabweichung kann somit die Regelung der Druckmittelmenge genauer erfolgen. Aufgrund der genaueren Regelung wird auch Energie eingespart.

[0009] Nachlauf entsteht bei Beschleunigungsvorgängen, da die Drehzahl des Elektromotors nicht unmittelbar, sondern mit einer Verzögerung dem Vorgabewert für die Drehzahl folgt. Wenn bei dem Ermitteln der Drehzahlabweichung der Nachlauf des Elektromotors ermittelt wird, wird die Regelung auch in Situationen, in denen der Motor beschleunigt oder vor kurzem beschleunigt hat, genauer. Zur Beschleunigung zählen auch negative Beschleunigungen, die Verzögerungsvorgänge.

[0010] In einer Ausführungsform wird der Schlupf in Abhängigkeit von dem ermittelten Druck/Volumenstrom-Profil ermittelt. Der Schlupf ist in der Regel von der Last, die der Elektromotor treibt, abhängig. Die Last ist wiederum abhängig von dem aktuell geforderten Druck bzw. von der angeforderten Druckmittelmenge, die die Verstellpumpe liefern muss. Somit kann anhand des Druck/Volumenstrom-Profiles die Last und somit der Schlupf des Motors ermittelt werden, ohne dass es hierfür einer gesonderten Messung bedarf.

[0011] In einer Ausführungsform wird beim Schritt des Ansteuerns des Elektromotors und der Volumeneinstellung der Verstellpumpe der Vorgabewert für die Drehzahl durch Addition des ermittelten Schlupfs und des ermittelten Drehzahl-Sollwerts ermittelt. Damit wird die Drehzahldifferenz des Elektromotors durch die Addition der ermittelten Drehzahlabweichung wieder ausgeglichen. Daraufhin gibt der Elektromotor eine Drehzahl aus, die möglichst nah an die Drehzahl des Drehzahl-Profiles kommt.

[0012] In einer weiteren Ausführungsform wird beim

Schritt des Ansteuerns des Elektromotors und der Volumeneinstellung der Verstellpumpe die ermittelte Drehzahlabweichung von dem ermittelten Drehzahl-Sollwert zur Ermittlung des Ansteuerwerts für die Verstellpumpe von dem ermittelten Drehzahl-Sollwert subtrahiert. Dadurch ist es möglich, die Drehzahldifferenz durch eine höhere Volumeneinstellung zu kompensieren, so dass der Volumenstrom trotz der niedrigen Drehzahl bereitgestellt wird. Dies empfiehlt sich besonders, wenn die Drehzahl des Elektromotors nahe der maximalen Drehzahl ist und eine Erhöhung der Drehzahl zu einer Schädigung des Elektromotors führen kann.

[0013] Falls bei der Ermittlung der Drehzahlabweichung das Drehmoment des Elektromotors simuliert wird, kann daraus mit einer relativ einfachen Rechenoperation der Schlupf berechnet werden.

[0014] Vorzugsweise ist der Elektromotor als Asynchronmotor ausgebildet und der Elektromotor wird geberlos angesteuert. Geberlos bedeutet, dass es keinen Sensor gibt, der die Drehzahl des Rotors misst und an die Steuerung des Elektromotors rückmeldet. Ein Messen der Drehzahl ist grundsätzlich aufwändig und verursacht mehr Kosten. Die geberlose Ansteuerung verringert somit den Aufwand für die Regelschaltung.

[0015] Die Erfindung betrifft auch eine Regelschaltung zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für einen hydraulischen Aktor einer zyklisch arbeitenden Maschine, bei der der Aktor von einer von einem drehzahlgesteuerten Elektromotor angetriebenen Verstellpumpe mit einer Druckmittelmenge versorgt wird.

[0016] Die Regelschaltung weist einen Pumpenregler zum Regeln des Drucks bzw. der Druckmittelmenge durch Ansteuern der Volumeneinstellung der Verstellpumpe auf. Eine Drehzahlprofilerstellvorrichtung ist zum Erstellen eines Drehzahl-Profiles zum Einstellen der Drehzahl des Elektromotors während eines Zyklus der Maschine eingerichtet. Eine Einstellvorrichtung ist zum Betreiben des Elektromotors entsprechend dem ermittelten Drehzahl-Profil in einem Zyklus der Maschine vorgesehen. Weiterhin enthält die Regelschaltung eine Regulationsanpassungsvorrichtung zum Ermitteln der Drehzahlabweichung des Elektromotors sowie eine Vorrichtung zum Ansteuern des Pumpenreglers und/oder der Einstellvorrichtung in Abhängigkeit der ermittelten Drehzahlabweichung.

[0017] Die Regelschaltung ermöglicht, dass mit einer Motorsimulation, aus der die tatsächliche Motordrehzahl näherungsweise berechnet wird, die Regelung auch ohne Messung der Drehzahl im Betrieb hinreichend genau und schnell ist. Die Simulation enthält vorzugsweise sowohl eine Berechnung des Schlupfs als auch eine Berechnung des Nachlaufs.

[0018] Durch die Regelschaltung können ungenaue Regelungen wegen der variablen Antriebsdrehzahl vermindert werden. Es ist eine genauere Förderstromregelung ohne eine Drehzahlerfassung möglich.

[0019] In einer Ausführungsform wird der Nachlauf des Motors berechnet, wodurch die Abweichung der Dreh-

zahl bei konstant gehaltener Antriebsdrehzahl und bei variabler Antriebsdrehzahl weniger groß ist.

[0020] Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen erläutert.

5

Figur 1 zeigt einen Aktor einer Fertigungsmaschine mit der dazugehörigen Regelvorrichtung zum Erzeugen einer hydraulischen Druckmittelmenge.

10

Figur 2 zeigt Details der Regelvorrichtung nach Figur 1.

15

Figur 3 zeigt eine weitere Ausführungsform eines Aktors mit dazugehöriger Regelvorrichtung zum Erzeugen einer hydraulischen Druckmittelmenge.

20

[0021] Figur 1 zeigt einen Aktor einer Fertigungsmaschine sowie die dazu verwendete Regelung zum Bereitstellen von hydraulischem Druckmittel für diesen Aktor.

25

[0022] 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, die sich hinsichtlich der benötigten Druckmenge unterscheiden. In diesen Abschnitten erfolgt jeweils ein Arbeitsvorgang. Arbeitsvorgänge sind beispielsweise "Werkzeug schließen", "Kunststoff einspritzen", "das Werkzeug öffnen", "eine Nachdruckphase abwarten" oder ähnliches.

30

[0023] In diesen unterschiedlichen Abschnitten müssen unterschiedliche Druckmengen dem als Zylinder 11 ausgebildeten 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 das elektrische Signal u_1 , das über die Leitung 27 geleitet wird, angesteuert.

35

40

45

[0024] Ein Wegemessumformer 21 misst die Position der Kolbenstange des Zylinders 11, wandelt die Position in ein elektrisches Signal s_1 um, das über die Leitung 23 an die übergeordnete Steuerung 25 ausgegeben wird.

50

[0025] Zur Steuerung des Drucks p in der Leitung 16 ist eine Regelschaltung 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 gespei-

55

cherten Druck/Volumenstrom-Profil $p(t)/Q(t)$.

[0026] Zudem empfängt die Vorrichtung 10 ein Zyklusstartsignal y_{t0} , 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.

[0027] Die übergeordnete Schaltung 25 gibt auch einen Wert n_{l1} , der einen Kompensationswert für die Drehzahlabweichung repräsentiert, aus. Der Sollwert für die Drehzahl n_s und der Kompensationswert n_{l1} werden mit Hilfe des Summationsglieds 35 addiert. Das Ergebnis dieser Addition wird als Signal n_{c1} an den Frequenzumformer 33 ausgegeben. Dieser treibt den Motor 14 an. Die Drehzahl der Welle 34 ist aufgrund des Schlupfs geringer als die Drehzahl n_{c1} , entspricht aber möglichst dem Sollwert für die Drehzahl n_s .

[0028] Der Sollwert für die Drehzahl n_s wird verwendet, um aus ihm das Fördervolumen zu berechnen, da dieser Wert am nächsten an der tatsächlichen Drehzahl der Welle 34 ist.

[0029] Das Signal n_{c1} empfängt der Frequenzumrichter 33, der dementsprechend den Elektromotor 14 mit einem elektrischen Signal der 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.

[0030] Die Drehzahl n des Elektromotors 14 wird nicht gemessen und rückgekoppelt, die Drehzahl n wird somit im offenen Kreis gesteuert.

[0031] Das Stellglied 31 empfängt das Ausgangssignal y_{VF} von der Einrichtung 10 und steuert das Fördervolumen VF der Verstellpumpe 13. Der Messwertumformer 32 gibt ein elektrisches Signal, das den Ist-Wert des Fördervolumens V_{Fi} der Verstellpumpe 13 anzeigt, aus.

[0032] 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 K_Q ausgeführt. Das Rechenglied 45 empfängt als Eingangssignal den Sollwert für die Drehzahl n_s und gibt dessen Kehrwert an seinen Ausgang als das Signal K_Q aus. Der Multiplizierer empfängt an seinen Eingängen den Sollwert für den Volumenstrom Q_s sowie das Signal K_Q .

[0033] Der Multiplizierer 44 bildet folglich aus dem Sollwert Q_s für den dem Zylinder zuzuführenden Volumenstrom unter Berücksichtigung der Drehzahl n des Elektromotors 14 einen Sollwert V_{Fs} für das Fördervolumen der Verstellpumpe 13. Der Pumpenregler 41 empfängt als Eingangssignale den Ist-Wert für das Fördervolumen V_{Fi} , den Ist-Wert für den Druck p_i , den Sollwert für das Fördervolumen V_{Fs} sowie den Sollwert für den Druck p_s und gibt an seinem Ausgang das Ausgangssignal für das Fördervolumen y_{VF} aus.

[0034] 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 V_{Fs} und dem Ist-Wert V_{Fi} eine Regeldifferenz, die dem Fördervolumenregler 49 als Eingangssignal zugeführt wird.

[0035] 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 durch Einstellen des Fördervolumens der Verstellpumpe 13.

[0036] Die Übertragungsverhalten des Förderstromreglers 49 und des Druckreglers 52 weisen jeweils einen Proportional- und einen Differentialanteil auf.

[0037] In der übergeordneten Steuerung 25 ist ein Druck/ Volumenstrom-Profil $p(t)/Q(t)$ für die Druckmittelzufuhr des Zylinders 11 gespeichert. Ein Drehzahl-Profil $n(t)$ 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 Q_A bezeichnet.

[0038] 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 $Q = n_{max} * VF$ 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 V_{Fi} des Fördervolumens unter Berücksichtigung der konstanten Drehzahl n_{max} berechnen. Es ist vorteilhaft, als konstante Dreh-

zahl $n_{\max}$ 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.

[0039] 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 Δt für die Erfassung der zu speichernden Werte ermittelt. In einem weiteren Lernzyklus werden im Abstand von Δt die Istwerte V_{Fi} des Fördervolumens erfasst und in der Motorsteuerung 42 gespeichert. Die dort gespeicherten Werte bilden ein Fördervolumen-Profil $V_{Fi}(t)$.

[0040] 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 $Q_A(t)$. Durch Division des Volumenstrombedarfs Q_A durch einen konstanten Wert des Fördervolumens V_F 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 V_F der Verstellpumpe 13 liegt. Damit eine Regelreserve zur Verfügung steht, wird der konstante Wert so gewählt, dass er ungefähr 90 % des Nennwerts des Fördervolumens V_F der Verstellpumpe 13 entspricht. Dieser Wert ist im folgenden mit V_{FgO} bezeichnet.

[0041] Um Speicherplatz einzusparen, kann nach dem Abschluss einer Division der gespeicherte Wert des Volumenstrombedarfs Q_A durch den aus ihm berechneten Drehzahlwert n ersetzt werden. Steuert man die Drehzahl des Elektromotors 14 gemäß dem auf diese Weise ermittelten Drehzahl-Profil $n(t)$ an, würde sich unter idealen Bedingungen das Fördervolumen V_F der Verstellpumpe 13 auf den Wert V_{FgO} einstellen. In der Praxis ist jedoch das Fördervolumen V_F 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 V_F 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.

[0042] Anhand des Drehzahlprofils und des Fördervolumenprofils wird für möglichst viele Zeitpunkte eines Arbeitszyklus die Drehzahlabweichung berechnet. Dazu wird anhand des Drucks und der Volumeneinstellung der Verstellpumpe berechnet, wie groß die Last des Elektromotors ist, indem das Drehmoment mit Hilfe des Drehmoments, das abhängig vom Druck ist berechnet wird.

[0043] In der übergeordneten Ansteuerung sind Simulationswerte für den Schlupf in Abhängigkeit des Drehmoments und der Statorfrequenz hinterlegt.

[0044] Ebenso wird der Nachlauf des Elektromotors berechnet. Aus dem Drehzahlprofil ist erkennbar, wann der Rotor beschleunigt. Simulationswerte, die die Beschleunigung nachbilden, zeigen, um wieviel die Drehzahlen des Rotors von den Vorgabewerten für die Drehzahl abweichen.

[0045] Figur 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Aktors einer zyklisch arbeitenden Fertigungsmaschine mit der dazugehörigen Regelvorrichtung zur Bereitstellen von Druckmittelmengen. Elemente mit gleichen Funktionen wie in den vorhergehenden Figuren werden mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet und nicht extra erläutert.

[0046] Ein erster Unterschied ergibt sich aus der fehlenden Rückkopplung für die Fördermenge V_F . Für die Fördermenge wird ein Sollwert V_{Fs} berechnet, mit dessen Hilfe die Fördermenge im offenen Kreis gesteuert wird. Eine Regelung der Fördermenge erfolgt dabei nicht. Diese Maßnahme verringert die Kosten für das Gesamtsystem zusätzlich, da der Messumformer 32 und die Rückführungen eingespart werden. Diese Einsparung könnte auch in der Ausführungsform nach Figur 1 vorgenommen werden.

[0047] Ein zweiter Unterschied von der Ausführungsform nach Figur 1 ergibt sich durch die Art, wie der Schlupf und der Nachlauf in der Steuerung berücksichtigt werden. Das Ausgabesignal der Motorsteuerung 42, der Sollwert für die Drehzahl n_s , wird auf den Frequenzumformer 33 gegeben. Aufgrund des Schlupfes unterscheidet sich die Drehzahl n der Welle 34 von dem Sollwert für die Drehzahl n_s . Zu weiteren Unterschieden kann es kommen, wenn der Motor nachläuft und sich deswegen die Drehzahl des Rotors von dem Sollwert für die Drehzahl n_s unterscheidet.

[0048] Um den Schlupf bei der Drehzahl trotzdem zu berücksichtigen, ist das Summationsglied 36 vorgesehen, das an einem ersten Eingang den Sollwert für die Drehzahl n_s und an einem zweiten Eingang einen Kompensationswert n_{l2} empfängt. Das Summationsglied 36 zieht von dem Sollwert für die Drehzahl n_s den Kompensationswert n_{l2} ab. Der Sollwert des Fördervolumens V_F wird folglich mit einem korrigierten Drehzahlwert n_{c2} berechnet, der möglichst nah an der tatsächlichen Drehzahl n der Welle 34 ist. Wenn der Vorgabewert für die Drehzahl n_s nicht geändert wird, so wird bei Vorliegen von Schlupf im Motor das Fördervolumen V_F entsprechend erhöht, so dass ein Volumenstrom von der Verstellpumpe 13 ausgegeben wird, der dem Druck/Volumenstrom-Profil entspricht.

[0049] In einer weiteren Ausführungsform ist es auch möglich, die Kompensationen gemäß Figur 1 und Figur 3 zu kombinieren. Dabei braucht der erste Kompensationswert n_{l1} , der gemäß Figur 1 zur Berechnung des korrigierten Drehzahlsollsignals n_{c1} verwendet wird, lediglich aus einer Berechnung des Motorschlupfes abgeleitet

werden. Der Kompensationswert $nl1$ entspricht dabei einem Drehzahlvorhalt, der zur Kompensation eines Schlupfes auf die Drehzahlvorgabe ns aufaddiert wird. Der zweite Kompensationswert $nl2$, der gemäß Figur 3 Eingang in den Förderstromsollwert VF_s findet, wird in diesem Fall aus einer Simulation des Nachlaufs des Motors 14 berechnet. Dieser Kompensationswert $nl2$ wird von der Drehzahlvorgabe ns abgezogen, um einen möglichst gute Abschätzung $nc2$ der aktuellen Motordrehzahl zu erhalten. Aus der Drehzahlabweichung $nc2$ wird, wie vorangehend beschrieben, ein Sollwert des Fördervolumens VF_s erhalten, um die Verstellpumpe 13 in möglichst guter Übereinstimmung mit dem Förderstromsollwert Q_s anzusteuern.

[0050] Ferner ist es auch möglich, den Motorschlupf bei der Berechnung des Volumenstroms Q ist während der Lernphase zu berücksichtigen, um den Sollwert Q_s entsprechend zu kompensieren. Liegt beispielsweise ein Schlupf vor, so wird der Sollwert Q_s entsprechend erhöht, damit der sich ergebende Volumenstrom dem des Druck/Volumenstrom-Profiles entspricht.

Bezugszeichenliste

[0051]

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

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für einen hydraulischen Aktor (11) einer zyklisch arbeitenden Maschine, bei der der Aktor (11) von einer Verstellpumpe (13) mit einer Druckmittelmenge (Q) versorgt wird, und die Verstellpumpe (13) von einem drehzahlgesteuerten Elektromotor (14) angetrieben wird, und wobei der Druck (p) bzw. die Druckmittelmenge (Q) von einem Pumpenregler (41) durch Ansteuern der Volumeneinstellung der Verstellpumpe (13) geregelt wird, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Erstellen und/oder Vorhalten eines Drehzahl-Profiles zum Einstellen der Drehzahl des Elektromotors (14) während eines Zyklus der Maschine,
- Ansteuern der Drehzahl (n) des Elektromotors (14) und der Volumeneinstellung der Verstellpumpe (13), wobei innerhalb eines Zyklus der Maschine der Elektromotor (14) gemäß dem Drehzahl-Profil angesteuert wird,
- Ermitteln eines Druck/Volumenstrom-Profiles für die Druckmittelmenge, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- ein Schritt des Ermitteln einer Drehzahlabweichung ($nl1$; $nl2$) vorgesehen ist, wobei sich die Drehzahlabweichung ($nl1$; $nl2$) aus der Abweichung der Drehzahl (n) des Elektromotors (14) von einem Sollwert für die Drehzahl (ns) ergibt, wobei die Drehzahlabweichung ($nl1$; $nl2$) anhand des ermittelten Druck/Volumenstrom-Profiles ermittelt wird
- und der Schritt des Ansteuerns der Drehzahl (n) des Elektromotors (14) und/oder der Volumeneinstellung der Verstellpumpe (13) in Abhängigkeit von der Drehzahlabweichung ($nl1$; $nl2$) erfolgt,

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Schritt des Ansteuerns des Elektromotors (14) und der Volumeneinstellung der Verstellpumpe (13) der Vorgabewert ($nc1$) für die Drehzahl durch Addition der ermittelten Drehzahlabweichung ($nl1$) und eines Drehzahl-Sollwerts (ns) ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Schritt des Ansteuerns des Elektromotors (14) und der Volumeneinstellung der Verstellpumpe (13) zur Ermittlung des Ansteuerwerts (y_{VF}) für die Verstellpumpe (13) die ermittelte Drehzahlabweichung ($nl2$) von einem Drehzahl-Sollwert (ns) subtrahiert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

dadurch gekennzeichnet, dass

bei dem Ermitteln der Drehzahlabweichung (nl1; nl2) der Schlupf berechnet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, 5
dadurch gekennzeichnet, dass
 bei der Ermittlung des Schlupfs das Drehmoment des Elektromotors (14) simuliert wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, 10
dadurch gekennzeichnet, dass
 bei dem Ermitteln der Drehzahlabweichung (nl2) der Nachlauf des Elektromotors simuliert wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, 15
dadurch gekennzeichnet, dass
 der Elektromotor (14) als Asynchronmotor ausgebildet ist und der Elektromotor (14) geberlos angesteuert wird. 20
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, 25
dadurch gekennzeichnet, dass
 mehrere, insbesondere zwei Drehzahlabweichungen (nl1; nl2) ermittelt werden, welche durch unterschiedliche Berechnungen bzw. Simulationen erhalten werden.
9. Regelschaltung zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für einen hydraulischen Aktor (11) einer zyklisch arbeitenden Maschine, bei der der Aktor (11) von einer von einem drehzahlgesteuerten Elektromotor (14) angetriebenen Verstellpumpe (13) mit einer Druckmittelmenge versorgt wird, wobei die Regelschaltung folgendes aufweist: 30
 - einen Pumpenregler (41) zum Regeln des Drucks bzw. der Druckmittelmenge durch Ansteuern der Verstellpumpe (13),
 - eine Drehzahlprofilerstellvorrichtung zum Erstellen und/oder Vorhalten eines Drehzahl-Profiles zum Einstellen der Drehzahl (n) des Elektromotors (14) während eines Zyklus der Maschine, 35
 - eine Einstellvorrichtung (42, 35) zum Betreiben des Elektromotors entsprechend dem ermittelten Drehzahl-Profil in einem Arbeitszyklus der Maschine, 40
 - ein in einer übergeordneten Steuerung (25) gespeichertes Druck/Volumenstrom-Profil für die Druckmittelzufuhr, 45

gekennzeichnet dadurch, dass

eine Vorrichtung zum Ermitteln der Drehzahlabweichung (nl1, nl2) des Elektromotors (14) vorgesehen ist, wobei sich die Drehzahlabweichung (nl1; nl2) aus der Abweichung der Drehzahl (n) des Elektromotors (14) von einem Sollwert für die Drehzahl (ns) ergibt, wobei die Drehzahlabweichung (nl1; nl2) anhand

des Druck/Volumenstrom-Profiles ermittelt wird und dass die Einstellvorrichtung (42, 35) und/oder der Pumpenregler (41) in Abhängigkeit von der ermittelten Drehzahlabweichung (nl1; nl2) angesteuert wird.

10. Regelschaltung nach Anspruch 9, 5
dadurch gekennzeichnet, dass
 ein Summationsglied (35) vorgesehen ist zum Addieren der ermittelten Drehzahlabweichung (nl1) und eines ermittelten Drehzahl-Sollwerts (ns), wobei das Ergebnis der Addition als Vorgabewert (nc1) der Einstellvorrichtung (42, 35) zugeführt wird.
11. Regelschaltung nach Anspruch 9 oder 10, 10
dadurch gekennzeichnet, dass
 ein Subtrahionsglied zum Subtrahieren der ermittelten Drehzahlabweichung (nl2) von einem ermittelten Drehzahl-Sollwert (ns) vorgesehen ist, wobei das Ergebnis der Subtraktion einer Schaltung (41, 44) zur Ermittlung des Ansteuerwerts (yVF) für die Verstellpumpe (13) zugeführt wird.
12. Regelschaltung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, 15
dadurch gekennzeichnet, dass
 der Elektromotor (14) als Asynchronmotor ausgebildet ist und der Elektromotor (14) geberlos angesteuert wird. 20
13. Regelschaltung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, 25
dadurch gekennzeichnet, dass
 die Vorrichtung zum Ermitteln der Drehzahlabweichung zwei Drehzahlabweichungen (nl1, nl2) bereitstellt, wobei die eine Drehzahlabweichung (nl1) der Einstellvorrichtung (42, 35) zugeführt ist und die andere Drehzahlabweichung (nl2) dem Pumpenregler (41) zugeführt ist. 30
14. Regelschaltung nach Anspruch 13, 35
dadurch gekennzeichnet, dass
 der einen Drehzahlabweichung (nl1) eine Berechnung eines Schlupfs des Motors (14) zugrunde liegt und dass der anderen Drehzahlabweichung (nl2) eine Simulation bzw. eine Berechnung eines Nachlaufs des Motors (14) zugrunde liegt. 40

Claims

1. Method for regulating a supply of pressure medium for a hydraulic actuator (11) of a cyclically operating machine, in which the actuator (11) is supplied with a quantity of pressure medium (Q) by an adjustment pump (13), and the adjustment pump (13) is driven by a rotational-speed-controlled electric motor (14), and wherein the pressure (p) or the quantity of pressure medium (Q) is regulated by a pump regulator (41) by actuating the setting of the volume of the adjustment pump (13), wherein the method has the

following steps:

- producing and/or providing a rotational speed profile for setting the rotational speed of the electric motor (14) during a cycle of the machine,
- actuating the rotational speed (n) of the electric motor (14) and the setting of the volume of the adjustment pump (13), wherein within a cycle of the machine the electric motor (14) is actuated according to the rotational speed profile,
- determining a pressure/volume flow profile for the quantity of pressure medium,

characterized in that

- a step of determining a rotational speed difference (nl1; nl2) is provided, wherein the rotational speed difference (nl1; nl2) arises from the difference between the rotational speed (n) of the electric motor (14) and a setpoint value for the rotational speed (ns), wherein the rotational speed difference (nl1; nl2) is determined on the basis of the determined pressure/volume flow profile,
- and the step of actuating the rotational speed (n) of the electric motor (14) and/or setting the volume of the adjustment pump (13) is carried out as a function of the rotational speed difference (nl1; nl2).

2. Method according to Claim 1,

characterized in that

in the step of actuating the electric motor (14) and setting the volume of the adjustment pump (13), the prespecified value (nc1) for the rotational speed is determined by adding the determined rotational speed difference (nl1) and a rotational speed setpoint value (ns).

3. Method according to Claim 1 or 2,

characterized in that

in the step of actuating the electric motor (14) and setting the volume of the adjustment pump (13), the determined rotational speed difference (nl2) is subtracted from a rotational speed setpoint value (ns) in order to determine the actuation value (yVF) for the adjustment pump (13).

4. Method according to one of Claims 1 to 3,

characterized in that

the slip is calculated during the determination of the rotational speed difference (nl1; nl2).

5. Method according to Claim 4,

characterized in that

the torque of the electric motor (14) is simulated during the determination of the slip.

6. Method according to one of Claims 1 to 5,

characterized in that

the run on of the electric motor is simulated during the determination of the rotational speed difference (nl2).

7. Method according to one of Claims 1 to 6,

characterized in that

the electric motor (14) is embodied as an asynchronous motor, and the electric motor (14) is actuated without an encoder.

8. Method according to one of Claims 1 to 7,

characterized in that

a plurality of rotational speed differences (nl1; nl2), in particular two thereof, are determined and are obtained by means of different calculations or simulations.

9. Regulating circuit for regulating a supply of pressure medium for a hydraulic actuator (11) of a cyclically operating machine, in which the actuator (11) is supplied with a quantity of pressure medium by an adjustment pump (13) which is driven by a rotational-speed-controlled electric motor (14), wherein the regulating circuit has the following:

- a pump regulator (41) for regulating the pressure or the quantity of pressure medium by actuating the adjustment pump (13),
- a rotational-speed-profile-producing device for producing and/or providing a rotational speed profile for setting the rotational speed (n) of the electric motor (14) during a cycle of the machine,
- a setting device (42, 35) for operating the electric motor in accordance with the determined rotational speed profile in a working cycle of the machine,
- a pressure/volume flow profile, stored in a superordinate controller (25), for the supply of pressure medium,

characterized in that

a device is provided for determining the rotational speed difference (nl1, nl2) of the electric motor (14), wherein the rotational speed difference (nl1; nl2) arises from the difference between the rotational speed (n) of the electric motor (14) and a setpoint value for the rotational speed (ns), wherein the rotational speed difference (nl1; nl2) is determined on the basis of the pressure/volume flow profile, and **in that** the setting device (42, 35) and/or the pump regulator (41) are/is actuated as a function of the determined rotational speed difference (nl1; nl2).

10. Regulating circuit according to Claim 9,

characterized in that

a summing element (35) is provided for adding the

determined rotational speed difference (nl1) and a determined rotational speed setpoint value (ns), wherein the result of the addition is fed as a predefined value (nc1) to the setting device (42, 35).

11. Regulating circuit according to Claim 9 or 10, **characterized in that** a subtractor element for subtracting the determined rotational speed difference (nl2) from a determined rotational speed setpoint value (ns) is provided, wherein the result of the subtraction is fed to a circuit (41, 44) for determining the actuation value (yVF) for the adjustment pump (13).
12. Regulating circuit according to one of Claims 9 to 11, **characterized in that** the electric motor (14) is embodied as an asynchronous motor, and the electric motor (14) is actuated without an encoder.
13. Regulating circuit according to one of Claims 9 to 12, **characterized in that** the device for determining the rotational speed difference makes available two rotational speed differences (nl1, nl2), wherein the one rotational speed difference (nl1) is fed to the setting device (42, 35) and the other rotational speed difference (nl2) is fed to the pump regulator (41).
14. Regulating circuit according to Claim 13, **characterized in that** the one rotational speed difference (nl1) is based on a calculation of a slip of the motor (14), and the other rotational speed difference (nl2) is based on a simulation or a calculation of a run on of the motor (14).

Revendications

1. Procédé de régulation d'une alimentation en fluide sous pression destiné à un actionneur hydraulique (11) d'une machine fonctionnant de manière cyclique, dans lequel l'actionneur (11) est alimenté par une pompe de réglage (13) en une certaine quantité de fluide sous pression (Q), et la pompe de réglage (13) est entraînée par un moteur électrique (14) à une vitesse de rotation commandée, et dans lequel la pression (p) ou la quantité de fluide sous pression (Q) est régulée par un régulateur de pompe (41) par commande du réglage de volume de la pompe de réglage (13), dans lequel le procédé comprend les étapes consistant à :
 - régler et/ou fournir un profil de vitesse de rotation pour régler la vitesse de rotation du moteur électrique (14) pendant un cycle de la machine,
 - commander la vitesse de rotation (n) du moteur

électrique (14) et le réglage de volume de la pompe de réglage (13), dans lequel le moteur électrique (14) est commandé conformément au profil de vitesse de rotation au cours d'un cycle de la machine,

- déterminer un profil de pression/débit volumique pour la quantité de fluide sous pression, **caractérisé en ce qu'il** est prévu
- une étape de détermination d'un écart de vitesse de rotation (nl1 ; nl2), dans lequel l'écart de vitesse de rotation (nl1 ; nl2) résulte d'un écart entre la vitesse de rotation (n) du moteur électrique (14) et une valeur théorique de la vitesse de rotation (ns), dans lequel l'écart de vitesse de rotation (nl1 ; nl2) est déterminé sur la base du profil de pression/débit volumique déterminé,
- et l'étape de commande de la vitesse de rotation (n) du moteur électrique (14) et/ou de réglage de volume de la pompe de réglage (13) est effectuée en fonction de l'écart de vitesse de rotation (nl1 ; nl2).

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**, lors de l'étape de commande du moteur électrique (14) et de réglage de volume de la pompe de réglage (13), la valeur prédéterminée (nc1) de la vitesse de rotation est déterminée par addition de l'écart de vitesse de rotation déterminée (nl1) à la valeur théorique (ns) de la vitesse de rotation.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que**, lors de l'étape de commande du moteur électrique (14) et de réglage de volume de la pompe de réglage (13), l'écart de vitesse de rotation (nl2) déterminé est soustrait à la valeur théorique (ns1) de la vitesse de rotation afin d'obtenir la valeur de commande (yVF) pour la pompe de réglage (13).
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que**, lors de la détermination de l'écart de vitesse de rotation (nl1 ; nl2), le glissement est calculé.
5. Procédé selon la revendication 4, **caractérisé en ce que**, lors de la détermination du glissement, le couple de rotation du moteur électrique (14) est simulé.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que**, lors de la détermination de l'écart de vitesse de rotation (nl2), le fonctionnement par inertie du moteur électrique est simulé.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications

1 à 6,

caractérisé en ce que le moteur électrique (14) est réalisé sous la forme d'un moteur asynchrone et **en ce que** le moteur électrique (14) est commandé sans codeur de rotation.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7,

caractérisé en ce que plusieurs écarts de rotation, notamment deux écarts de rotation (nl1 ; nl2) qui sont obtenus par des calculs ou des simulations différentes, sont déterminés.

9. Circuit de régulation destiné à régler une alimentation en fluide sous pression destiné à un actionneur hydraulique (11) d'une machine fonctionnant de manière cyclique, dans lequel l'actionneur (11) est alimenté en une certaine quantité de fluide sous pression par une pompe de réglage (13) entraînée par un moteur électrique (14) à une vitesse de rotation commandée, dans lequel le circuit de régulation comprend ce qui suit :

- un régulateur de pompe (41) destiné à réguler la pression ou la quantité de fluide sous pression par commande de la pompe réglage (13),
- un dispositif de réglage de profil de vitesse de rotation destiné à régler et/ou à présenter un profil de vitesse de rotation pour régler la vitesse de rotation (n) du moteur électrique (14) pendant un cycle de la machine,
- un dispositif de réglage (42, 35) destiné à faire fonctionner le moteur électrique d'une manière qui correspond au profil de vitesse de rotation obtenu au cours d'un cycle de fonctionnement de la machine,
- un profil de pression/débit volumique d'alimentation en fluide sous pression stocké dans une unité de commande de niveau supérieur (25),

caractérisé en ce qu'il est prévu un dispositif destiné à déterminer l'écart de vitesse de rotation (nl1 ; nl2) du moteur électrique (14), dans lequel l'écart de vitesse de rotation (nl1 ; nl2) résulte de l'écart entre la vitesse de rotation (n) du moteur électrique (14) et une valeur théorique de la vitesse de rotation (ns), dans lequel l'écart de vitesse de rotation (nl1 ; nl2) est déterminé sur la base du profil de pression/débit volumique et **en ce que** le dispositif de réglage (42, 35) et/ou le régulateur de pompe (41) est commandé en fonction de l'écart de vitesse de rotation (nl1 ; nl2) déterminé.

10. Circuit de régulation selon la revendication 9, **caractérisé en ce qu'il** est prévu un élément de sommation (35) destiné à additionner l'écart de vitesse de rotation (nl1) déterminé à une valeur théorique (ns) déterminée de la vitesse de rotation, dans

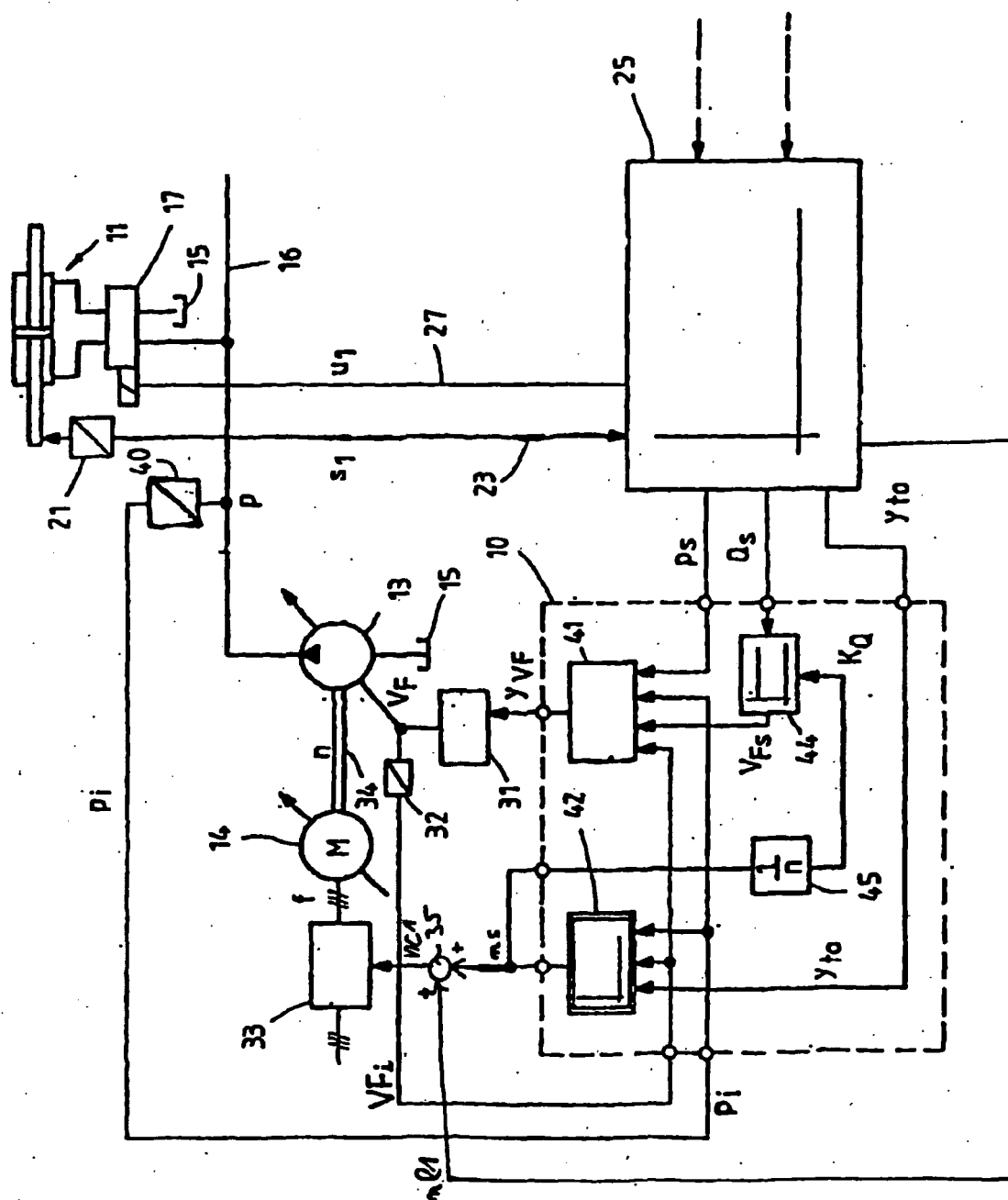
lequel le résultat de l'addition est fourni au dispositif de réglage (42, 35) en tant que valeur de consigne (nc1).

11. Circuit de régulation selon la revendication 9 ou 10, **caractérisé en ce qu'il** est prévu un élément de soustraction destiné à soustraire l'écart de vitesse de rotation (nl2) déterminé à une valeur théorique (ns) déterminée de la vitesse de rotation, dans lequel le résultat de la soustraction est fourni à un circuit (41, 44) destiné à déterminer la valeur de commande (yVF) de la pompe de réglage (13).

12. Circuit de régulation selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, **caractérisé en ce que** le moteur électrique (14) est réalisé sous la forme d'un moteur asynchrone et **en ce que** le moteur électrique (14) est commandé sans codeur de rotation.

13. Circuit de régulation selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, **caractérisé en ce que** le dispositif fournit deux écarts de rotation (nl1, nl2) afin de déterminer l'écart de vitesse de rotation, dans lequel le premier écart de vitesse de rotation (nl1) est fourni au dispositif de réglage (32, 35) et l'autre écart de vitesse de rotation (nl2) est fourni au régulateur de pompe (41).

14. Circuit de régulation selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** le premier écart de vitesse de rotation (nl1) permet de calculer un glissement du moteur (14) et **en ce que** l'autre écart de vitesse de rotation (nl2) permet d'effectuer une simulation ou un calcul d'un fonctionnement par inertie du moteur (14).



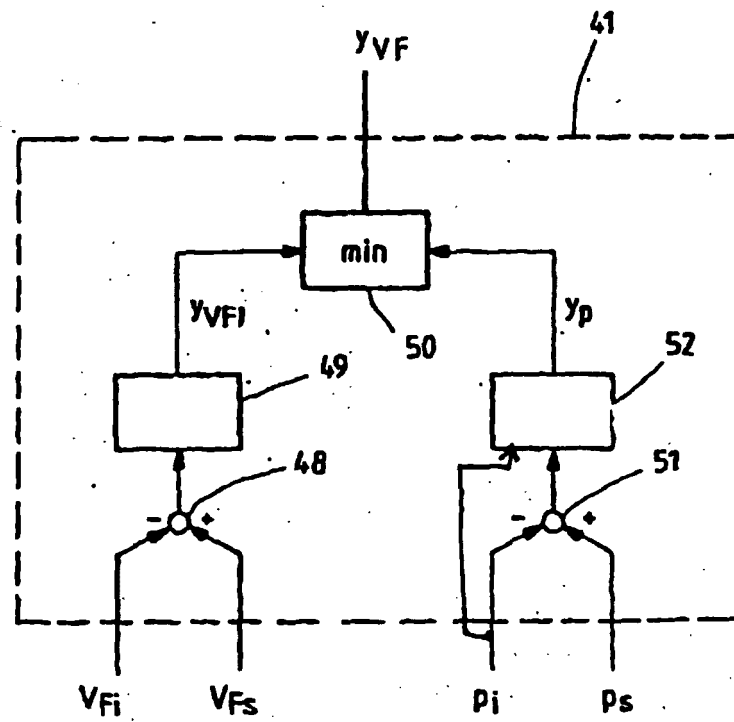


FIG.2

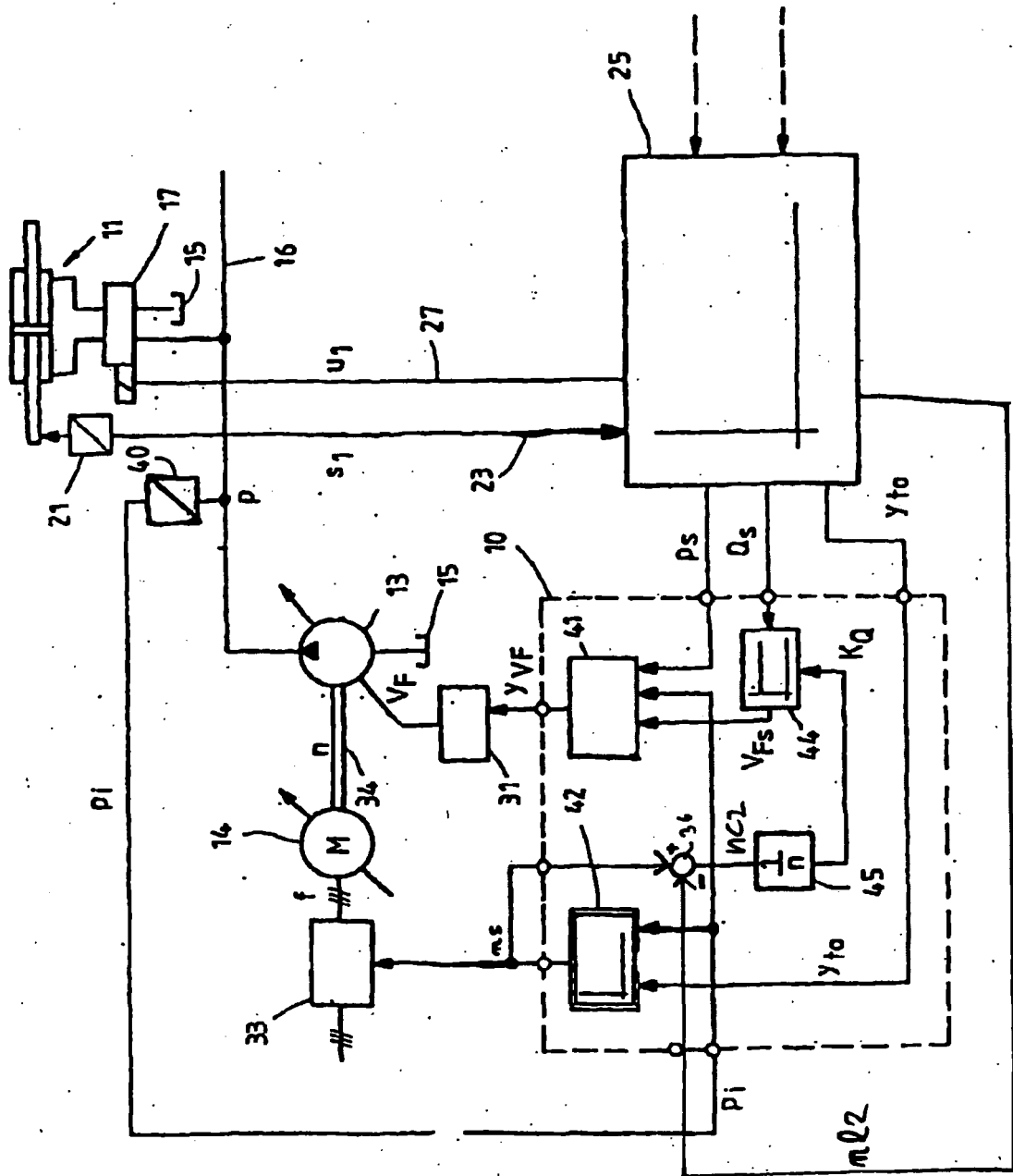


FIG. 3

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] [0037]