

(19)



(11)

**EP 2 597 310 A2**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:

**29.05.2013 Patentblatt 2013/22**

(51) Int Cl.:

**F04B 49/08** <sup>(2006.01)</sup>**F04B 49/20** <sup>(2006.01)</sup>(21) Anmeldenummer: **12007291.3**(22) Anmeldetag: **24.10.2012**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

Benannte Erstreckungsstaaten:

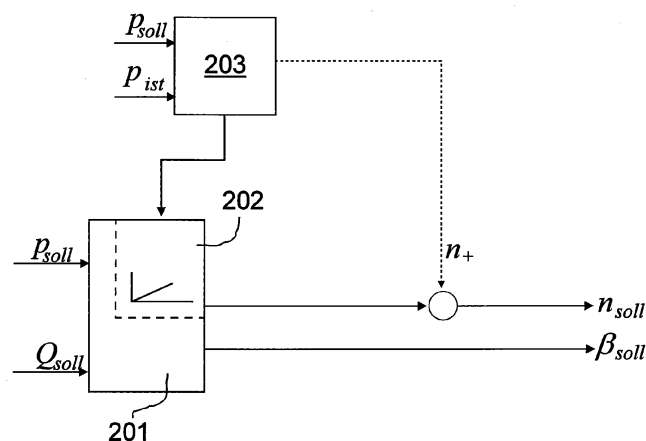
**BA ME**• **Liebler, Gerold****97828 Marktheidenfeld (DE)**• **Lebert, Christian****63877 Eichenberg (DE)**• **Schwenker, Benjamin****97816 Lohr am Main (DE)**(30) Priorität: **24.11.2011 DE 102011119299**(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH****70442 Stuttgart (DE)**(74) Vertreter: **Thürer, Andreas****c/o Bosch Rexroth AG****Zum Eisengiesser 1****97816 Lohr am Main (DE)**

(72) Erfinder:

• **Dr. Köckemann, Albert****97816 Lohr am Main (DE)****(54) Verfahren zum Betreiben einer drehzahlvariablen Verstellpumpe**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer drehzahlvariablen Verstellpumpe (10), bei der ein verstellbares Förderwerk (20) von einem drehzahlvariablen Antrieb (30) angetrieben wird, wobei ein Ist-Volumenstrom auf einen Soll-Volumenstrom ( $Q_{soll}$ ) und/oder ein Ist-Förderdruck ( $P_{ist}$ ) auf einen Soll-Förder-

druck ( $P_{soll}$ ) geregelt wird, indem ein Soll-Fördervolumen des Förderwerks (20) eingestellt und eine Soll-Drehzahl ( $n_{soll}$ ) des Antriebs (30) vorgegeben wird, wobei die Soll-Drehzahl ( $n_{soll}$ ) bei Eintritt wenigstens einer vorbestimmten Auslösebedingung im Rahmen einer Vorsteuerung erhöht wird.

**FIG. 2****EP 2 597 310 A2**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer drehzahlvariablen Verstellpumpe nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, eine Recheneinheit zu dessen Durchführung sowie eine drehzahlvariable Verstellpumpe mit einer solchen Recheneinheit.

### Stand der Technik

**[0002]** Der Erfindung zugrunde liegende Pumpen bestehen aus einem Förderwerk mit variablem Fördervolumen (pro Hub bzw. Umdrehung), welches von einem Antrieb mit variabler Drehzahl angetrieben wird. Beim Betrieb solcher Pumpen werden üblicherweise der Volumenstrom und/oder der Förderdruck (d.h. Druckdifferenz zwischen Zulauf und Ablauf) durch entsprechende Anpassung des Fördervolumens des Förderwerks und der Drehzahl geregelt, d.h. solche Pumpen besitzen zwei Freiheitsgrade bei der Regelung.

**[0003]** In der DE 10 2009 018 071 A1 wird in diesem Zusammenhang ein Verfahren zur Regelung einer Druckmittelzufuhr offenbart, um mit einer solchen Pumpe einen hydraulischen Aktor einer zyklisch arbeitenden Maschine zu betreiben. Hierbei werden eine optimale Antriebsdrehzahl sowie ein Fördervolumen für einen geforderten Druck und einen geforderten Volumenstrom bestimmt. Bei dem Einsatz einer solchen Pumpe in einer nicht zyklisch arbeitenden Maschine ergibt sich der Nachteil, dass bei größeren Mengenänderungen das Aufregelverhalten durch die Dynamik der Drehzahländerung begrenzt wird. Dies kann u.U. zu einem Einbruch des Förderdrucks führen.

**[0004]** Es stellt sich die Aufgabe, den Betrieb solcher Pumpen in nicht zyklisch arbeitenden Maschinen zu verbessern.

### Offenbarung der Erfindung

**[0005]** Erfindungsgemäß werden ein Verfahren zum Betreiben einer drehzahlvariablen Verstellpumpe, eine Recheneinheit zu dessen Durchführung sowie eine drehzahlvariable Verstellpumpe aufweisend eine solche Recheneinheit mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

### Vorteile der Erfindung

**[0006]** Die Erfindung schafft eine Möglichkeit, die Dynamik einer Drehzahländerung bei drehzahlvariablen Verstellpumpen deutlich zu erhöhen und so einem Förderdruckabfall bei großen Mengenänderungen entgegenzuwirken. Dies ermöglicht den einschränkungsfreien Einsatz solcher Pumpen auch in nicht zyklisch arbeitenden Maschinen. Die Erfindung bedient sich dazu der Anhebung der Soll-Drehzahl im Rahmen einer Vorsteuer-

ung bei Eintritt wenigstens einer vorbestimmten Auslösebedingung. Dies erfolgt beispielsweise durch Auslösen einer Rampenfunktion und/oder durch Beaufschlagen der Soll-Drehzahl mit einem Vorsteuerwert.

**[0007]** Im Stand der Technik wird beim Betrieb der Pumpe zur Druckregelung die Soll-Drehzahl üblicherweise in Abhängigkeit vom Ist-Fördervolumen bestimmt. Die Drehzahl unterliegt jedoch einer begrenzten Dynamik, so dass sie Änderungen nicht beliebig schnell folgen kann. Es kommt zum Druckeinbruch. Im Rahmen der Erfindung wird nun durch die Vorsteuerung ein ggf. energieoptimaler Arbeitspunkt zugunsten einer besseren Dynamik verlassen, die Druckeinbrüche werden zumindest reduziert. Das zusätzliche Vorsteuersignal für Drehzahl führt ebenfalls zu einer verbesserten Dynamik der Pumpe.

**[0008]** Vorzugsweise wird die Soll-Drehzahl dabei so erhöht, dass sich ein maximal möglicher Drehzahlgradient ergibt. Bei der Ansteuerung wird die Soll-Drehzahl üblicherweise über eine Rampenfunktion geführt, so dass am Antrieb eine kontinuierliche Drehzahlerhöhung anliegt. Der Gradient der Rampe bestimmt sich im Wesentlichen aus dem Unterschied zwischen der Ausgangsdrehzahl und der erhöhten Soll-Drehzahl, wobei ein Maximalgradient (meist konstruktiv bedingt) berücksichtigt werden muss. Eine Vorgabe der Soll-Drehzahl so, dass sich der maximal mögliche Drehzahlgradient ergibt, führt zu einer schnellst möglichen Drehzahlanhebung, um Druckeinbrüche möglichst kurz zu halten. Zusätzlich wird durch die Erfindung der Zeitverzug zwischen Schaltvorgang in der von der Pumpe angetriebenen Maschine (was zu einer Mengenänderung führt) und Start der Drehzahlrampe verringert.

**[0009]** Liegt wenigstens eine Auslösebedingung vor, wird in die Drehzahlregelung eingegriffen und die Soll-Drehzahl erhöht, so dass eine höhere Soll-Drehzahl an den Antrieb vorgegeben wird, als sich aus der Regelung alleine ergäbe.

**[0010]** Als Auslösebedingung für die Drehzahlanhebung eignet sich insbesondere eine Schwellwertüberwachung des Unterschieds zwischen Soll-Förderdruck  $p_{\text{soll}}$  und Ist-Förderdruck  $p_{\text{ist}}$ . Übersteigt der Unterschied einen vorgebbaren Schwellwert, zeigt dies einen beginnenden Druckeinbruch an, dem entgegengewirkt werden soll.

**[0011]** Als Auslösebedingung für die Drehzahlanhebung eignet sich ebenso eine Schwellwertüberwachung eines zeitlichen Gradienten des (Ist- oder Soll-)Fördervolumens. Steigt bspw. das (Ist- oder Soll-)Fördervolumen in kurzer Zeit stark an, kann dies, wie beschrieben, ebenfalls zu einem Druckeinbruch führen, dem entgegengewirkt werden soll.

**[0012]** In die Auslösebedingungen gehen in bevorzugter Ausgestaltung im Wesentlichen nur in der Recheneinheit ("Regler") ohnehin bekannte bzw. daraus abgeleiteten Größen ein, insbesondere Soll-Förderdruck  $p_{\text{soll}}$ , Ist-Förderdruck  $p_{\text{ist}}$ , Soll-Volumenstrom  $Q_{\text{soll}}$ , Ist-Volumenstrom  $Q_{\text{ist}}$ , Soll-Fördervolumen  $V_{\text{soll}}$ , Ist-Fördervolu-

men  $V_{ist}$ , Zeiten, Stellgrößen des Förderwerks, wie z.B. Schwenkwinkel bei Axialkolbenpumpen, Soll-Drehzahl und Ist-Drehzahl. Die Erfindung kann daher besonders vorteilhaft auch nachträglich in existierende Systeme implementiert werden, insbesondere im Wege eines Softwareupdates.

**[0013]** Die Vorsteuerung kann beispielsweise ein Proportionalglied mit passender Proportionalverstärkung  $K_p$  beinhalten, in das bspw. der Unterschied zwischen Soll-Förderdruck  $p_{soll}$  und Ist-Förderdruck  $p_{ist}$  eingeht. Eine geeignete Proportionalverstärkung  $K_p$  kann anlagenabhängig bestimmt werden.

**[0014]** Die Erfindung entfaltet besondere Vorteile im Bereich von Spritzgießmaschinen, Pressen, Maschinen für Holzbearbeitung, Prüfstände, usw., da hier ein Druckeinbruch besonders nachteilig ist. Der Einsatz bzw. die Verwendung der Erfindung in diesen Gebieten ist daher besonders zweckmäßig.

**[0015]** Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät einer drehzahlvariablen Verstellpumpe, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen. Die Recheneinheit ist beispielsweise eine integrierte Elektronik (z.B. ASIC) auf der Pumpe bzw. im Umrichter oder eine externe Steuerung.

**[0016]** Auch die Implementierung der Erfindung in Form von Software ist vorteilhaft, da dies besonders geringe Kosten ermöglicht, insbesondere wenn eine ausführende Recheneinheit noch für weitere Aufgaben genutzt wird und daher ohnehin vorhanden ist. Geeignete Datenträger zur Bereitstellung des Computerprogramms sind insbesondere Disketten, Festplatten, Flash-Speicher, EEPROMs, CD-ROMs, 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 bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen drehzahlvariablen Verstellpumpe.

Figur 2 zeigt ein Regelschema gemäß einer bevor-

zugten Ausführungsform der Erfindung.

**[0021]** In Figur 1 ist eine bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen drehzahlvariablen Verstellpumpe schematisch dargestellt und insgesamt mit 10 bezeichnet. Die Verstellpumpe 10 verfügt über ein verstellbares Förderwerk 20 (welches im vorliegenden Beispiel in zwei Richtungen fördern kann), einen drehzahlvariablen Antrieb 30 und eine Recheneinheit 40 zum Betrieb der Pumpe.

**[0022]** Das Förderwerk 20 ist als Axialkolbenpumpe mit verstellbarem Schwenkwinkel  $\alpha$  für eine Schrägscheibe oder Schrägachse ausgebildet, bei der der Schwenkwinkel  $\alpha$  zur Vorgabe eines Fördervolumens  $V$  pro Hub bzw. Umdrehung vorgegeben werden kann. Dazu wird ein Stellsignal von der Recheneinheit 40 an die Axialkolbenpumpe 20 vorgegeben und ein Ist-Schwenkwinkel wird rückgeführt. Das Stellsignal kann bspw. ein Sollwert für ein sog. Pilotventil auf der Pumpe sein.

**[0023]** Der Antrieb ist hier als sog. Normmotor ausgebildet, der einen Asynchronmotor 31 und einen Frequenzumrichter 32 aufweist. Im Prinzip können auch Synchron-Servomotoren eingesetzt werden. Die Drehzahl  $n$  des Asynchronmotors 31 ist variabel. Dazu wird eine Soll-Drehzahl von der Recheneinheit 40 an den Antrieb 30 vorgegeben. Die Ist-Drehzahl kann über einen Winkelgeber oder rechnerisch bestimmt werden, wie es bspw. in der DE 10 2009 055 978 A1 offenbart wird.

**[0024]** Für die Regelung der Pumpe 10 dient die Recheneinheit 40, der ein Soll-Förderdruck  $p$  und ein Soll-Volumenstrom  $Q$  zugeführt werden. Die Recheneinheit bestimmt daraus im Rahmen der Erfindung die zwei zur Verfügung stehenden Stellgrößen, Drehzahl  $n$  und ein Stellsignal für den Schwenkwinkel  $\alpha$  der Regelpumpe. Eine bevorzugte Möglichkeit zur Bestimmung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf Figur 2 erläutert, in der grob schematisch eine Regelung gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung dargestellt ist, welche in der Recheneinheit 40 implementiert sein kann.

**[0025]** Im unteren Bereich des Regelschemas ist eine übliche Pumpenregelung dargestellt. Die Pumpenregelung erzeugt Sollwerte für die Drehzahl  $n_{soll}$  und ein Stellsignal  $\beta_{soll}$  (es handelt sich dabei üblicherweise nicht um einen Winkel-Sollwert, sondern um ein Stellsignal für ein Pilotventil) auf Grundlage des gewünschten Arbeitspunktes  $p_{soll}$ ,  $Q_{soll}$ . Dazu ist ein Pumpenregler inkl. Logikglied 201 vorgesehen, welches auf Grundlage des gewünschten Arbeitspunktes  $p_{soll}$ ,  $Q_{soll}$  die Sollwerte bestimmt. Es sind hierzu insbesondere Rechenverfahren bekannt, die einen energiesparenden Betrieb ermöglichen. Die Solldrehzahl  $n_{soll}$  wird dann bspw. dem Antrieb 30 übermittelt, dessen Antriebsregler 32 die Drehzahl des Elektromotors 31 auf die Solldrehzahl  $n_{soll}$  einregelt. Auf Grundlage des Stellsignals  $\beta_{soll}$  wird ein Schwenkwinkel an dem Förderwerk eingestellt. Eine solche Regelung ist bspw. aus der DE 10 2009 018 071 A1 bekannt, weshalb an dieser Stelle nicht vertieft darauf eingegangen zu werden braucht.

**[0026]** Im Rahmen der Erfindung wird diese grundsätzliche Pumpenregelung um eine Funktionalität zur Anpassung der Soll-Drehzahl erweitert, um die Dynamik der Pumpe zu erhöhen und um Druckeinbrüche vorzubeugen. Diese Vorsteuerung ist im oberen Bereich der Figur 2 dargestellt. Tritt eine bestimmte Auslösebedingung ein, wird die Soll-Drehzahl erhöht.

**[0027]** Die Funktionalität ist im vorliegenden Beispiel dadurch realisiert, dass eine Aufwärtsrampenfunktion 202 innerhalb des Pumpenreglers 201 ausgelöst wird, so dass die Soll-Drehzahl kontinuierlich erhöht wird. Die Aufwärtsrampenfunktion 202 erhöht kontinuierlich die Soll-Drehzahl, bis ein vorgebbare Schwellwert erreicht ist und/oder die Aufwärtsrampenfunktion beendet wird.

**[0028]** Alternativ oder zusätzlich kann die Drehzahlerhöhung auch ein Beaufschlagen des Drehzahlsollwerts  $n_{soll}$  mit einem Vorsteuerwert  $n_+$  umfassen. Zur Bestimmung des Vorsteuerwerts  $n_+$  kann das Logikglied 203 beispielsweise auch ein Proportionalglied mit passender Proportionalverstärkung  $K_P$  beinhalten, in das bspw. ein Unterschied zwischen einem Sollwert und einem Istwert eingeht (bspw. Soll-Förderdruck  $p_{soll}$ , Ist-Förderdruck  $p_{ist}$ , Soll-Volumenstrom  $Q_{soll}$ , Ist-Volumenstrom  $Q_{ist}$ , Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{soll}$ , Ist-Schwenkwinkel  $\alpha_{ist}$ ).

**[0029]** Als Auslösebedingung wird vorliegend überwacht, ob zum Beispiel die Differenz zwischen Solldruck  $p_{soll}$  und Istdruck  $p_{ist}$  einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet. Der Schwellwert kann absolut oder prozentual gewählt werden. Für die Überwachung ist ein Logikglied 203 vorgesehen, welches zugleich auch den Vorsteuerwert  $n_+$  bestimmt und ausgibt. Die Bestimmung kann bspw. anhand eines Kennfeldes erfolgen, welches von wenigstens einer der nachfolgenden Größen abhängen kann: Soll-Förderdruck  $p_{soll}$ , Ist-Förderdruck  $p_{ist}$ , Soll-Volumenstrom  $Q_{soll}$ , Ist-Volumenstrom  $Q_{ist}$ , Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{soll}$ , Ist-Schwenkwinkel  $\alpha_{ist}$ , Soll-Drehzahl  $n_{soll}$  und Ist-Drehzahl.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer drehzahlvariablen Verstellpumpe (10), bei der ein verstellbares Förderwerk (20) von einem drehzahlvariablen Antrieb (30) angetrieben wird, wobei ein Ist-Volumenstrom ( $Q_{ist}$ ) auf einen Soll-Volumenstrom ( $Q_{soll}$ ) und/oder ein Ist-Förderdruck ( $p_{ist}$ ) auf einen Soll-Förderdruck ( $p_{soll}$ ) geregelt wird, indem ein Soll-Fördervolumen des Förderwerks (20) eingestellt und eine Soll-Drehzahl ( $n_{soll}$ ) des Antriebs (30) vorgegeben wird, wobei die Soll-Drehzahl ( $n_{soll}$ ) bei Eintritt wenigstens einer vorbestimmten Auslösebedingung im Rahmen einer Vorsteuerung erhöht wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zur Erhöhung der Soll-Drehzahl eine Aufwärtsrampe (202) für die Soll-Drehzahl ( $n_{soll}$ ) gestartet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Soll-Drehzahl ( $n_{soll}$ ) zur Erhöhung mit einem Vorsteuerwert ( $n_+$ ) additiv beaufschlagt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Vorsteuerwert ( $n_+$ ) bestimmt wird aus wenigstens einem Sollwert und/oder wenigstens einem Istwert aus Förderdruck, Volumenstrom, Fördervolumen oder Drehzahl.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei der Vorsteuerwert ( $n_+$ ) bestimmt wird aus wenigstens einer Differenz zwischen einem Sollwert und einem Istwert aus Förderdruck, Volumenstrom, Fördervolumen oder Drehzahl.

6. Verfahren nach Anspruch 3, 4 oder 5, wobei der Vorsteuerwert ( $n_+$ ) bestimmt wird aus einer Änderungsgeschwindigkeit wenigstens eines Sollwerts oder Istwerts aus Förderdruck, Volumenstrom, Fördervolumen oder Drehzahl.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei der Vorsteuerwert ( $n_+$ ) so bestimmt wird, dass sich ein maximal möglicher Drehzahlgradient ergibt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7, wobei der Vorsteuerwert ( $n_+$ ) unter Verwendung eines Proportionalglieds mit Proportionalverstärkung  $K_P$  bestimmt wird.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei in die Auslösebedingung wenigstens ein Sollwert und/oder wenigstens ein Istwert aus Förderdruck, Volumenstrom, Fördervolumen oder Drehzahl eingeht.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei als Auslösebedingung das Überschreiten eines vorgegebenen Schwellwerts durch eine Differenz aus einem Sollwert und einem Istwert aus Förderdruck, Volumenstrom, Fördervolumen oder Drehzahl und/oder das Überschreiten eines vorgegebenen Schwellwerts durch eine Änderungsgeschwindigkeit eines Sollwerts oder Istwerts aus Förderdruck, Volumenstrom, Fördervolumen oder Drehzahl überwacht wird.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei als Förderwerk (20) eine Schrägscheiben- oder Schrägachsenpumpe mit verstellbarem Schwenkwinkel oder eine Radialkolben oder Flügelzellenpumpe mit Hubringverstellung verwendet wird und das Fördervolumen des Förderwerks (20) entsprechend dem Stellsignal eines Druck- oder Förderstromreglers eingestellt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei Ist- und/oder

Sollwert des Fördervolumens durch Ist- bzw. Sollwert des Schwenkwinkels ersetzt werden.

13. Recheneinheit, die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen. 5
14. Drehzahlvariable Verstellpumpe mit einem verstellbaren Förderwerk (20), einem drehzahlvariablen Antrieb (30) und einer Recheneinheit (40) nach Anspruch 13. 10

15

20

25

30

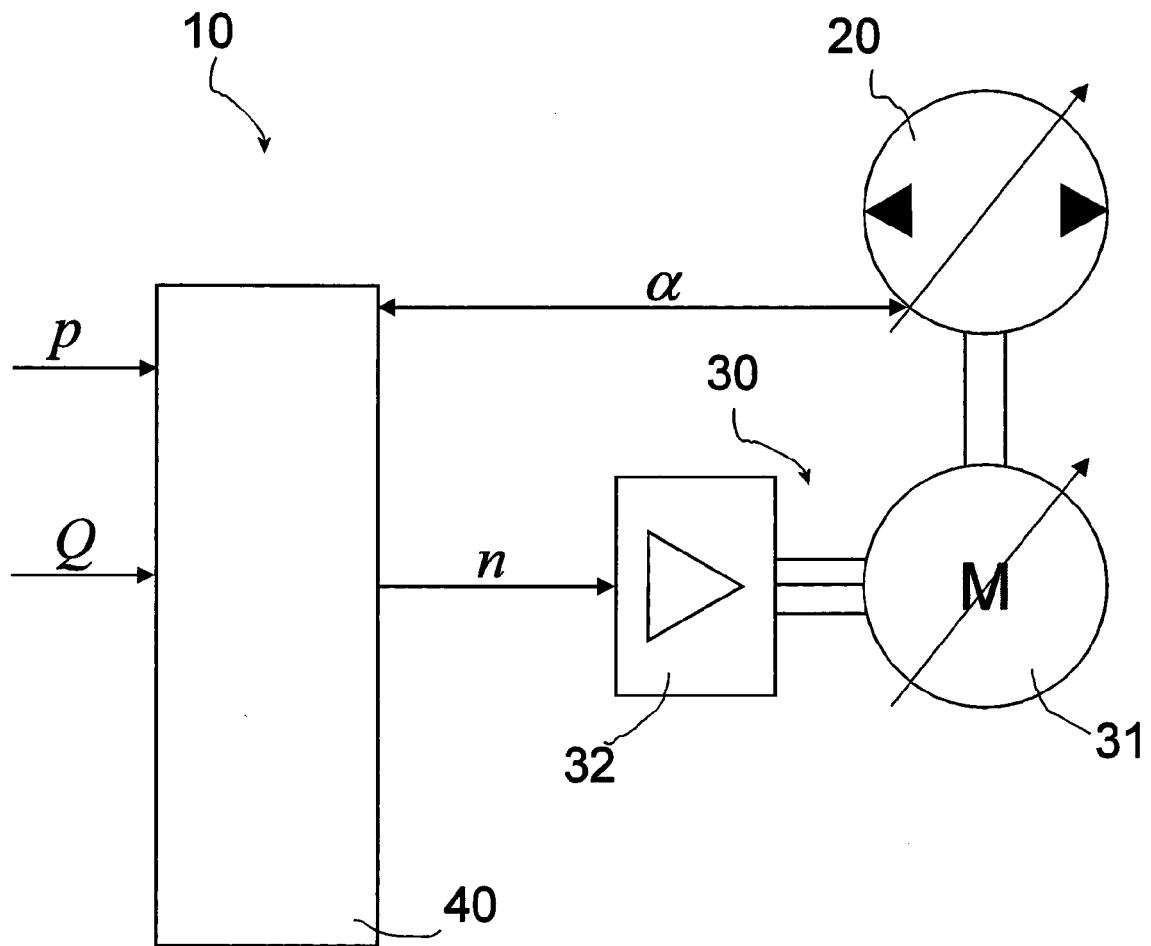
35

40

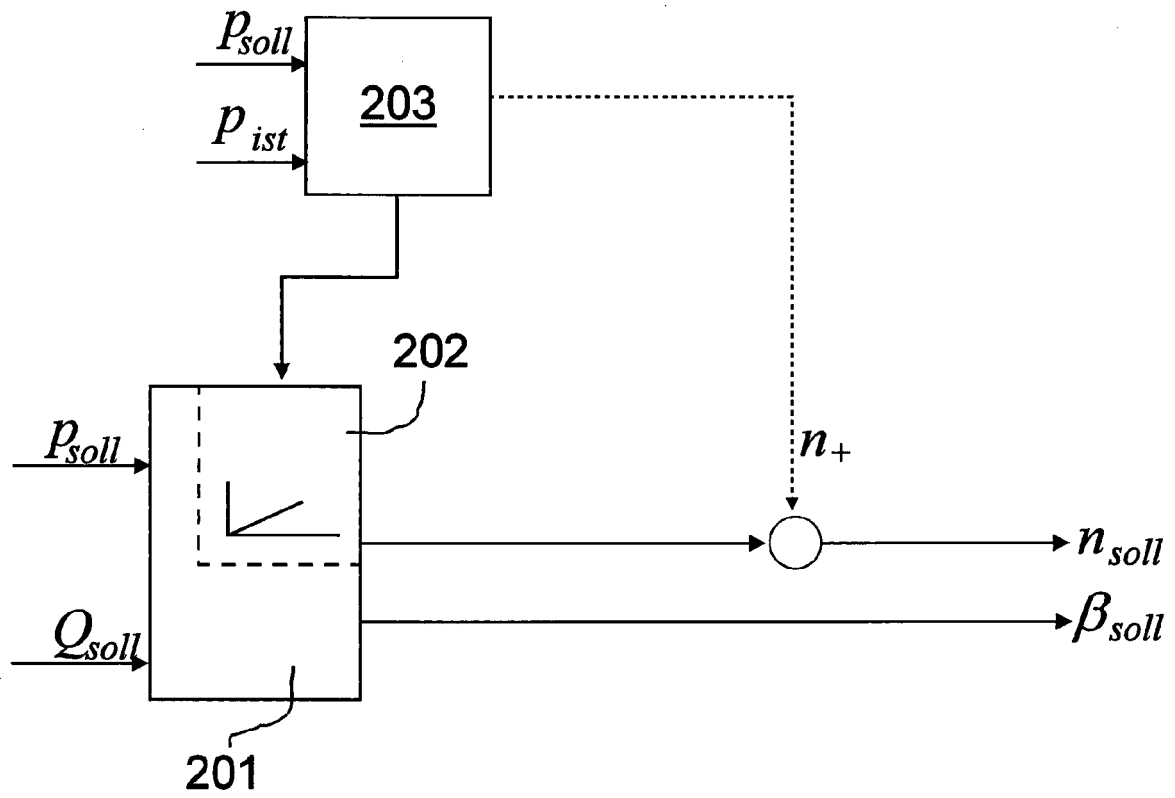
45

50

55



**FIG. 1**

**FIG. 2**

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

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

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 102009018071 A1 [0003] [0025]
- DE 102009055978 A1 [0023]