



## Beschreibung

### DYNAMISCHER SOLLWERTAUSGLEICH BEI DREHZAHLVARIABLEN VERSTELLPUMPEN

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für mindestens einen hydraulischen Aktor sowie eine Recheneinheit zu dessen Durchführung.

### STAND DER TECHNIK

**[0002]** Der Erfindung zugrunde liegende Pumpen bestehen aus einem Förderwerk mit variablem Verdrängervolumen pro Arbeitsspiel (sog. hydraulische Verdrängermaschine, z.B. Radialkolben- oder Axialkolbenmaschine), 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 Verdrängervolumens des Förderwerks und der Drehzahl geregelt, d.h. solche Pumpen besitzen zwei Freiheitsgrade bei der Regelung.

**[0003]** In der Praxis hat es sich als problematisch erwiesen, eine solche Pumpe im gegebenen Anwendungsfall, d.h. also zum Betrieb eines Aktors in einer - insbesondere zyklisch arbeitenden (d.h. mit vorhersagbarem Soll-Volumenstromverlauf) - Maschine, optimal zu betreiben. Die Prozessdynamik, d.h. die Fähigkeit, den Soll-Volumenstrom möglichst unmittelbar und unverzögert zur Verfügung zu stellen, bestimmt beispielsweise in Spritzgieß-, Stanz- oder Biegeprozessen direkt den Durchsatz und damit die Effizienz der Produktion. Bisher wird hohe Dynamik durch teure große Motoren (hohes Drehmoment) und Pumpen erreicht.

**[0004]** In der DE 10 2011 119 299 A1 wird ein Regelverfahren beschrieben, bei dem durch Drehzahlvorsteuerung die Dynamik einer Drehzahländerung erhöht wird, um so einem Förderdruckabfall bei großen Mengenänderungen entgegenzuwirken.

**[0005]** Man kann vor einer bevorstehenden Volumenstromerhöhung zunächst bei gleichbleibendem Volumenstrom die Drehzahl erhöhen und das Verdrängervolumen reduzieren, um dann die Volumenstromerhöhung mit einer Erhöhung des Verdrängervolumens darzustellen. Jedoch folgt der Ist-Volumenstrom dem Soll-Volumenstrom auch hier verzögert, was es zu verbessern gilt.

### OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

**[0006]** Erfindungsgemäß werden ein Verfahren zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für mindestens einen hydraulischen Aktor sowie eine Recheneinheit zu dessen Durchführung mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

### VORTEILE DER ERFINDUNG

**[0007]** Die Erfindung führt dazu, dass bei einer Soll-Volumenstromveränderung von einem Soll-Volumenstrom-Ausgangswert auf einen Soll-Volumenstrom-Endwert der Ist-Volumenstrom enger nachgeführt werden kann, so dass eine Regelabweichung zwischen Sollwert und Istwert reduziert wird. Die Pumpe kann dynamischer betrieben werden, d.h. mit einem größeren Volumenstromgradienten. Dieses vorteilhafte Ergebnis wird dadurch erreicht, dass die Soll-Volumenstromveränderung mit einer gleichzeitigen Veränderung des Verdrängervolumens und der Drehzahl von jeweils einem bestimmten Ausgangswert auf jeweils einen Endwert dargestellt wird. Die Bestimmung dieser Ausgangswerte erfolgt vorzugsweise mit einem Optimierungsziel, insbesondere die Minimierung der Zeit zum Erreichen der Endwerte oder die Minimierung der (z.B. integrierten bzw. aufsummierten) Abweichung zwischen Soll-Volumenstromverlauf und Ist-Volumenstromverlauf.

**[0008]** Im Folgenden wird die Erfindung im Wesentlichen anhand eines Soll-Volumenstromanstiegs erläutert, wobei auch Drehzahl und Verdrängervolumen angehoben werden. Die Erfin-

dung umfasst jedoch mutatis mutandis ebenso den Fall eines Soll-Volumenstromabfalls, wobei dann Drehzahl und Verdrängervolumen reduziert werden.

**[0009]** Im Gegensatz zu den einleitend beschriebenen Verfahren wird nun beispielsweise bei einem Soll-Volumenstromanstieg gerade die Drehzahl nicht vorab auf einen Maximalwert erhöht, sondern auf einen bestimmten (für den jeweilige Fall optimierten) Ausgangswert gebracht. Erst nach dem Soll-Volumenstromanstieg findet dann eine Erhöhung auf den Endwert statt, wobei dazu vorteilhafterweise das maximal verfügbare Drehmoment eingesetzt wird und gleichzeitig das Pumpenverdrängervolumen mit maximaler Geschwindigkeit vergrößert wird. Es hat sich nämlich gezeigt, dass bei einer gleichzeitigen gezielten Erhöhung von Drehzahl und Verdrängervolumen der Anstieg des Verdrängervolumens eine deutliche Abhängigkeit von den Ausgangswerten von Drehzahl und Verdrängervolumen zeigt (d.h. mit optimalen Ausgangswerten ist ein größerer Gradient möglich). Insbesondere resultiert auch ein größerer Gradient als bei einer Vorab-Erhöhung der Drehzahl bei gleichzeitiger Reduzierung des Verdrängervolumens und erst anschließender (d.h. nach dem Sollwertsprung) erneuter alleiniger Erhöhung des Verdrängervolumens gemäß den einleitend beschriebenen Verfahren.

**[0010]** Häufig führt die Wahl optimaler Ausgangswerte auch zu einer geringeren Enddrehzahl als beim vorherigen Erhöhen auf z.B. die Maximaldrehzahl gemäß den einleitend beschriebenen Verfahren. Insgesamt gehen somit die Drehzahlbelastung der Pumpe und der damit einhergehende Verschleiß durch Umwälzung, Temperatur und Kavitation zurück. Der Wartungsaufwand kann reduziert werden.

**[0011]** Wesentlich ist also, dass die Drehzahl nach der Soll-Volumenstromveränderung von dem bestimmten Drehzahl-Ausgangswert auf den Drehzahl-Endwert verändert wird. Aus dem Drehzahl-Ausgangswert ergibt sich automatisch ein zugehöriger Verdrängervolumen-Ausgangswert, da ja der Soll-Volumenstrom-Ausgangswert eingehalten werden soll. Dabei ist es insbesondere ausreichend, wenn der Drehzahl-Ausgangswert bestimmt ist und anschließend mit vorzugsweise maximalem Motormoment beschleunigt wird. Wird, wie bevorzugt, gleichzeitig auch das Verdrängervolumen mit maximalem Gradienten verstellt, ergeben sich auch die Drehzahl- und Verdrängervolumenendwerte automatisch, da ja der Soll-Volumenstrom-Endwert eingehalten werden soll.

**[0012]** Vorzugsweise werden die Drehzahl und/oder das Verdrängervolumen mit maximalem Gradienten erhöht, d.h. die Pumpe wird mit maximalem Drehmoment angetrieben bzw. das Verdrängervolumen wird so schnell wie möglich verstellt, um den Ist-Volumenstrom dem Soll-Volumenstrom nachzuführen. Damit wird für den jeweiligen Ausgangszustand (d.h. Drehzahl-Ausgangswert und Verdrängervolumen-Ausgangswert) ein maximaler Gradient des Ist-Volumenstroms erzielt. Die Gesamtgüte bzw. Gesamtdynamik hängt dann im Wesentlichen nur noch vom Ausgangszustand ab, den es, wie beschrieben, gezielt zu wählen gilt. Hierzu kann sich beispielsweise des in der nachveröffentlichten DE 10 2013 006 137 beschriebenen Verfahrens zur modellbasierten Optimierung bedient werden. Unter Verweis auf Figur 2, wo beispielhaft ein Soll-Volumenstromverlauf  $Q_{Soll}$  mit einem Anstieg von einem Soll-Volumenstrom-Ausgangswert  $Q_1$  auf einen Soll-Volumenstrom-Endwert  $Q_2$  und ein Ist-Volumenstromverlauf  $Q_{Ist}$  dargestellt sind, soll die Volumenstromabweichung über einen Zyklus  $0...T$  minimal sein:

$$\min \int_0^T (Q_{Soll}(t) - Q_{Ist}(t))^2 \cdot dt$$

**[0013]** Vorzugsweise wird der Drehzahl-Ausgangswert in Abhängigkeit von dem Soll-Volumenstrom-Ausgangswert und dem Soll-Volumenstrom-Endwert bestimmt. Weiter vorzugsweise wird der Drehzahl-Ausgangswert in Abhängigkeit von einem Antriebsmoment, insbesondere einem maximalen Antriebsmoment (d.h. aufbringbares Drehmoment des Pumpenantriebs) bestimmt. Weiter vorzugsweise wird der Drehzahl-Ausgangswert in Abhängigkeit von einem Gesamtträgheitsmoment der rotierenden Einheiten der Pumpe (z.B. Motor, Kupplung, Förderwerk) bestimmt. Weiter vorzugsweise wird der Drehzahl-Ausgangswert in Abhängigkeit von einem maximalen Verdrängervolumen pro Arbeitsspiel bestimmt. Weiter vorzugsweise wird der Drehzahl-

Ausgangswert in Abhängigkeit von einer maximalen Dynamik für das Verstellen des Verdrängervolumens pro Arbeitsspiel bestimmt. Die Berücksichtigung jeder dieser Größen ermöglicht, den optimalen (d.h. die Zielfunktion erfüllenden) Drehzahl-Ausgangswert genauer zu bestimmen.

**[0014]** Weiter vorzugsweise wird das erfindungsgemäße Verfahren in eine übergeordnete Regelungs- und Steuerungsstrategie eingebunden. Vorzugsweise kann sie z.B. als Boostfunktion über ein Steuersignal zunächst initialisiert werden und das Pumpenverdrängervolumen entsprechend auf den optimierten Ausgangswert vorgesteuert werden. Die Drehzahl ergibt sich dann automatisch aus dem übergeordneten Prozessregler für beispielsweise Druck und/oder Volumenstrom. Ab dem Startzeitpunkt der Volumenstrom-Sollwertänderung wird dann der Boost aktiviert, indem das maximale Motordrehmoment sowie die maximale Dynamik der Verdrängervolumenverstellung vorgesteuert werden. In dieser Zeit ist der übergeordnete Prozessregler wirkungslos (kann aber ggf. aktiv bleiben). Ab Erreichen des Endvolumenstroms (ggf. definiertes Fenster) wird die Boostfunktion deaktiviert und der übergeordnete Prozessregler übernimmt erneut die Prozessregelung.

**[0015]** Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise zur Projektierung und Auslegung von zugrunde liegenden Pumpen mit verstellbarem Förderwerk und drehzahlvariablem Antrieb eingesetzt bzw. verwendet. Beispielsweise kann eine geforderte Dynamik, insbesondere eine maximale Soll-Zeitdauer, bis ein Ist-Volumenstrom nach einer Soll-Volumenstromveränderung von einem Soll-Volumenstrom-Ausgangswert auf einen Soll-Volumenstrom-Endwert den Soll-Volumenstrom-Endwert erreicht, mit der maximal möglichen Dynamik einer bestimmten Pumpe (d.h. vorgegebenes Förderwerk und vorgegebener Antrieb) abgeglichen werden. Die erfindungsgemäße Optimierung ermöglicht damit insbesondere die Wahl kleinerer Förderwerke und Antriebe, um vergleichbare Dynamiken zu erreichen, wie sie bei herkömmlichen Auslegungsstrategien nur mit größeren bzw. leistungsstärkeren Komponenten erreicht werden können.

**[0016]** Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät einer drehzahlvariablen Verstellpumpe, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

**[0017]** 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.

**[0018]** Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

**[0019]** 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.

**[0020]** Die Erfindung ist anhand eines Ausführungsbeispiels in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

## FIGURENBESCHREIBUNG

**[0021]** Figur 1 zeigt einen Ausschnitt einer hydraulischen Maschine, die erfindungsgemäß betrieben werden kann.

**[0022]** Figur 2 zeigt einen beispielhaften Verlauf von Soll- und Ist-Volumenstrom zur Veranschaulichung der Erfindung.

## DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

**[0023]** In Figur 1 ist ein Ausschnitt einer hydraulischen Maschine 100, wie sie der Erfindung zu Grunde liegenden kann, schematisch dargestellt. Die hydraulische Maschine weist einen als Hydraulikzylinder 110 mit einem entlang einer x-Achse beweglichen Kolben 111 ausgebildeten Aktor auf, der von einer drehzahlvariablen Verstellpumpe 120 betätigt wird. Zwischen der drehzahlvariablen Verstellpumpe 120 und dem Hydraulikzylinder 110 ist ein Hydraulikkreislauf 130 angeordnet.

**[0024]** Die drehzahlvariable Verstellpumpe 120 weist einen als Elektromotor 121 ausgebildeten Antrieb und ein als Axialkolbenpumpe in Schwenkscheibenbauweise ausgebildetes Förderwerk 122 auf. Ein Steuergerät 140 ist programmtechnisch zur Durchführung einer bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet und gibt eine Soll-drehzahl  $n_{Soll}$  sowie einen Sollschwenkwinkel  $\alpha_{Soll}$  vor. Zur Regelung der Stellgrößen ist jeweils eine Rückführung der Istwerte  $n_{Ist}$  sowie  $\alpha_{Ist}$  vorgesehen. Dies kann unter Einsatz herkömmlicher Sensoren bewerkstelligt werden. Die Drehzahl ist insbesondere über das Antriebsmoment des Elektromotors 121 beeinflussbar.

**[0025]** Unter Verweis auf Figur 2 wird im Folgenden eine bevorzugte Möglichkeit zur Bestimmung von geeigneten Ausgangs- und Endwerten von  $n_{Soll}$  und  $\alpha_{Soll}$  erläutert, um den Ist-Volumenstromverlauf  $Q_{Ist}$  dem Soll-Volumenstromverlauf  $Q_{Soll}$  möglichst rasch nachzuführen.

**[0026]** Der Soll-Volumenstromverlauf  $Q_{Soll}$  steigt zu einem Zeitpunkt  $t_1$  von einem Soll-Volumenstrom-Ausgangswert  $Q_1$  auf einen Soll-Volumenstrom-Endwert  $Q_2$  an, der vom Ist-Volumenstromverlauf  $Q_{Ist}$  erst zu einem Zeitpunkt  $t_2$  erreicht wird.

**[0027]** Für Q gilt:

$$Q = n \cdot V_0 \cdot \alpha \Rightarrow \dot{Q} = (n \cdot \dot{\alpha} + \dot{n} \cdot \alpha) \cdot V_0 = n \cdot \dot{\alpha} \cdot V_0 + \dot{n} \cdot \alpha \cdot V_0$$

mit

$n$ :	Drehzahl
$V_0$ :	maximales Verdrängervolumen je Arbeitsspiel
$\alpha$ :	Geometriefaktor [0...1] (z.B. Schwenkwinkel)
$V = \alpha V_0$ :	Verdrängervolumen je Arbeitsspiel
$T$ :	Zeit, bis der Soll-Volumenstrom erreicht ist.

**[0028]** Für die Berechnung des Volumenstroms kann auch eine Pumpenleckage berücksichtigt und in die obige Gleichung integriert werden. In der hier vorgestellten bevorzugten Möglichkeit zur Bestimmung von geeigneten Ausgangs- und Endwerten von  $n_{Soll}$  und  $\alpha_{Soll}$  wird im Folgenden darauf verzichtet.

**[0029]** Ziel ist eine minimale Zeit  $T = t_2 - t_1$ , um ausgehend von einem Volumenstrom  $Q_1 = n_1 \cdot \alpha_1 \cdot V_0$  einen Volumenstrom  $Q_2 = n_2 \cdot \alpha_2 \cdot V_0 = (n_1 + \Delta n) \cdot \alpha_2 \cdot V_0$  zu erreichen. Für die Höhe der Volumenstromerhöhung gilt:

$$\Delta Q = Q_2 - Q_1 = V_0 \cdot \int_0^T [\dot{n}(t) \cdot \alpha(t) + n(t) \cdot \dot{\alpha}(t)] \cdot dt$$

**[0030]** Das maximale Beschleunigungsmoment  $M_B$  hängt vom Antriebsmoment  $M_{Motor}$  (welches bekannt ist und beispielsweise dem Datenblatt entnommen werden kann) und vom hydraulischen Moment ab gemäß:

$$M_B(t) = M_{Motor} - \frac{p \cdot \alpha(t) \cdot V_0}{2\pi}$$

**[0031]** Dabei wird in der hier vorgestellten bevorzugten Möglichkeit zur Bestimmung von geeig-

neten Ausgangs- und Endwerten von  $n_{Soll}$  und  $\alpha_{Soll}$  im Folgenden von einem konstanten Systemdruck  $p$  ausgegangen. In gleicher Weise lässt sich jedoch auch mit einem gegebenen zeitlichen Verlauf  $p(t)$  rechnen, der entsprechend in den folgenden Gleichungen berücksichtigt werden muss.

**[0032]** Außerdem können für die Berechnung des Beschleunigungsmomentes Reibmomente in Antrieb und Förderwerk als Verluste berücksichtigt und in die obige Gleichungen integriert werden. In der hier vorgestellten bevorzugten Möglichkeit zur Bestimmung von geeigneten Ausgangs- und Endwerten von  $n_{Soll}$  und  $\alpha_{Soll}$  wird im Folgenden darauf verzichtet.

**[0033]** Unter der genannten Voraussetzung des maximalen Verdrängervolumengradienten (welcher im Wesentlichen druckabhängig ist und dem Datenblatt entnommen werden kann) (im Folgenden  $\dot{\alpha}_{max}$ ) gilt:

$$\alpha(t) = \alpha_1 + \dot{\alpha}_{max} \cdot t$$

$$\alpha(T) = \alpha_2$$

**[0034]** Dabei wird in der hier vorgestellten bevorzugten Möglichkeit zur Bestimmung von geeigneten Ausgangs- und Endwerten von  $n_{Soll}$  und  $\alpha_{Soll}$  im Folgenden von einem konstanten Verdrängervolumengradienten  $\dot{\alpha}_{max}$  ausgegangen. In gleicherweise lässt sich jedoch auch mit einem gegebenen zeitlichen Verlauf  $\dot{\alpha}_{max}(t)$  rechnen, der entsprechend in den folgenden Gleichungen berücksichtigt werden muss.

**[0035]** Für die Drehzahländerung gilt bei maximalem Antriebsmoment  $M_{max}$  somit:

$$\begin{aligned} \Delta n = n_2 - n_1 &= \int_0^T \frac{M_B(t)}{J} \cdot dt = \frac{1}{J} \cdot \int_0^T \left( M_{max} - \frac{p \cdot \alpha(t) \cdot V_0}{2\pi} \right) \cdot dt \\ &= \frac{1}{J} \cdot \left[ M_{max} \cdot T - \frac{p \cdot V_0}{2\pi} \cdot \int_0^T \alpha(t) \cdot dt \right] \end{aligned}$$

**[0036]**  $J$ : Gesamtträgheitsmoment der drehzahlvariablen Verstellpumpe

**[0037]** Mit

$$\int_0^T \alpha(t) \cdot dt = \alpha_1 \cdot T + \frac{1}{2} \cdot \dot{\alpha}_{max} \cdot T^2$$

folgt

$$\Delta n = \frac{M_{max}}{J} \cdot T - \frac{p \cdot V_0}{2\pi \cdot J} \left( \alpha_1 \cdot T + \frac{1}{2} \cdot \dot{\alpha}_{max} \cdot T^2 \right)$$

**[0038]** Für jeden Ausgangszustand  $\alpha_1, n_1$  mit  $Q_1 = n_1 \cdot \alpha_1 \cdot V_0$  ergibt sich folglich ein zugehöriges  $T$ , das zu einem eindeutigen Endzustand  $\alpha_2, n_2$  mit  $Q_2 = n_2 \cdot \alpha_2 \cdot V_0$  führt, für den gilt:

$$n_2 = n_1 + \Delta n(T)$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \dot{\alpha}_{max} \cdot T$$

**[0039]** Aus den vorangegangenen Überlegungen lässt sich ein Gleichungssystem aufstellen, aus dem eine Bedingung für sämtliche gültigen Anfangs- und Endzustände  $\alpha_1, n_1, \alpha_2, n_2$  abgeleitet werden kann:

$$\left| \begin{array}{l} I \quad \Delta n = K_1 \cdot T - K_2 \cdot \alpha_1 \cdot T - \frac{1}{2} \cdot K_2 \cdot \dot{\alpha}_{max} \cdot T^2 \\ II \quad \alpha_1 + \dot{\alpha}_{max} \cdot T = \alpha_2 \\ III \quad \Delta n = \frac{Q_2}{\alpha_2 \cdot V_0} - \frac{Q_1}{\alpha_1 \cdot V_0} \end{array} \right|$$

mit

$$K_1 = \frac{M_{max}}{J}, \quad K_2 = \frac{p \cdot V_0}{2\pi \cdot J}$$

**[0040]** Daraus ergibt sich:

$$0 = g(\alpha_1, \alpha_2) = \frac{Q_1 \cdot \alpha_2}{V_0} - \frac{Q_2 \cdot \alpha_1}{V_0} + K_1 \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2^2 - \alpha_1^2 \cdot \alpha_2}{\dot{\alpha}_{max}} + K_2 \frac{\alpha_1^3 \cdot \alpha_2 - \alpha_1 \cdot \alpha_2^3}{2 \cdot \dot{\alpha}_{max}}$$

**[0041]** Zur Bestimmung des optimalen Ausgangszustand und des Endzustands ist somit folgende Optimierungsaufgabe zu lösen:

$$\min f = \alpha_2 - \alpha_1, \text{ s.d. } g(\alpha_1, \alpha_2) = 0$$

**[0042]** Dafür sind im Stand der Technik zahlreiche Methoden bekannt, wie z.B. numerische Solver. Hier bietet sich insbesondere auch einen analytische Lösung an.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für mindestens einen hydraulischen Aktor (110), der von einer drehzahlvariablen Verstellpumpe (120), bei der ein in einem Verdrängervolumen je Arbeitsspiel verstellbares Förderwerk (122) von einem drehzahlvariablen Antrieb (121) angetrieben wird, mit einer Druckmittelmenge versorgt wird, wobei ein Ist-Volumenstrom durch Vorgabe eines Drehzahlsollwerts ( $n_{Soll}$ ) und eines Sollwerts ( $\alpha_{Soll}$ ) für eine das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße auf einen Soll-Volumenstrom geregelt wird, wobei nach einer Soll-Volumenstromveränderung von einem Soll-Volumenstrom-Ausgangswert ( $Q_1$ ) auf einen Soll-Volumenstrom-Endwert ( $Q_2$ ) gleichzeitig der Drehzahlsollwert ( $n_{Soll}$ ) von einem bestimmten Drehzahl-Ausgangswert auf einen Drehzahl-Endwert und der Sollwert ( $\alpha_{Soll}$ ) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße von einem bestimmten Verdrängervolumen-Ausgangswert auf einen Verdrängervolumen-Endwert verändert werden, wobei der Drehzahlsollwert ( $n_{Soll}$ ) vor der Soll-Volumenstromveränderung auf den bestimmten Drehzahl-Ausgangswert verändert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Drehzahl-Ausgangswert in Abhängigkeit von dem Soll-Volumenstrom-Ausgangswert und dem Soll-Volumenstrom-Endwert bestimmt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Drehzahl-Ausgangswert so bestimmt wird, dass eine Zeitdauer, bis der Ist-Volumenstrom nach der Soll-Volumenstromveränderung den Soll-Volumenstrom-Endwert ( $Q_2$ ) erreicht, minimal ist.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Drehzahl-Ausgangswert in Abhängigkeit von einem Systemdruck in der drehzahlvariablen Verstellpumpe (120) bestimmt wird.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Drehzahl-Ausgangswert in Abhängigkeit von einem Antriebsmoment des drehzahlvariablen Antriebs (121) und/oder von einem Trägheitsmoment der drehzahlvariablen Verstellpumpe (120) und/oder von einem maximalen Verdrängervolumen je Arbeitsspiel des in dem Verdrängervolumen je Arbeitsspiel verstellbaren Förderwerks (122) bestimmt wird.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der drehzahlvariable Antrieb (121) nach der Soll-Volumenstromveränderung zur Abgabe eines maximalen Antriebsmoments veranlasst wird.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das in dem Verdrängervolumen je Arbeitsspiel verstellbare Förderwerk (122) nach der Soll-Volumenstromveränderung mit maximalem Gradienten verstellt wird.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Soll-Volumenstromveränderung eine Soll-Volumenstromerhöhung ist und der Drehzahlsollwert ( $n_{Soll}$ ) von dem Drehzahl-Ausgangswert auf den Drehzahl-Endwert erhöht wird und/oder der Sollwert ( $\alpha_{Soll}$ ) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße von dem Verdrängervolumen-Ausgangswert auf den Verdrängervolumen-Endwert erhöht wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der Drehzahlsollwert ( $n_{Soll}$ ) vor der Soll-Volumenstromveränderung auf den bestimmten Drehzahl-Ausgangswert reduziert wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Soll-Volumenstromveränderung eine Soll-Volumenstromreduzierung ist und der Drehzahlsollwert ( $n_{Soll}$ ) von dem bestimmten Drehzahl-Ausgangswert auf den Drehzahl-Endwert reduziert wird und/oder der Sollwert ( $\alpha_{Soll}$ ) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße von dem Verdrängervolumen-Ausgangswert auf den Verdrängervolumen-Endwert reduziert wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei der Drehzahlsollwert ( $n_{Soll}$ ) vor der Soll-Volumenstromveränderung auf den bestimmten Drehzahl-Ausgangswert erhöht wird.

12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, das in eine übergeordnete Regelungs- oder Steuerungsstrategie eingebunden ist, wobei der Drehzahlsollwert ( $n_{Soll}$ ) und der Sollwert ( $\alpha_{Soll}$ ) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße während eines Normalbetriebs außerhalb der Volumenstrom-Sollwertänderung nach Maßgabe der übergeordnete Regelungs- oder Steuerungsstrategie vorgegeben werden.
13. Verfahren zur Auslegung einer drehzahlvariablen Verstellpumpe (120), bei der ein in einem Verdrängervolumen je Arbeitsspiel verstellbares Förderwerk (122) von einem drehzahlvariablen Antrieb (121) angetrieben wird, wobei eine maximale Soll-Zeitdauer vorgegeben wird, bis ein Ist-Volumenstrom nach einer Soll-Volumenstromveränderung von einem Soll-Volumenstrom-Ausgangswert ( $Q_1$ ) auf einen Soll-Volumenstrom-Endwert ( $Q_2$ ) den Soll-Volumenstrom-Endwert ( $Q_2$ ) erreicht, wobei ein Förderwerk (122) und ein Antrieb (121) vorgegeben werden und wobei eine minimale Ist-Zeitdauer berechnet wird, bis der Ist-Volumenstrom nach der Soll-Volumenstromveränderung den Soll-Volumenstrom-Endwert ( $Q_2$ ) erreicht, wenn die drehzahlvariable Verstellpumpe (120) mit dem vorgegebenen Förderwerk (122) und dem vorgegebenen Antrieb (121) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche betrieben wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei das Förderwerk (122) und der Antrieb (121) so vorgegeben werden, dass die maximale Ist-Zeitdauer höchstens so lang ist wie die Soll-Zeitdauer ist.
15. Datenträger, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf ihm ein Programm zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 14 gespeichert ist.

**Hierzu 2 Blatt Zeichnungen**

1 / 2

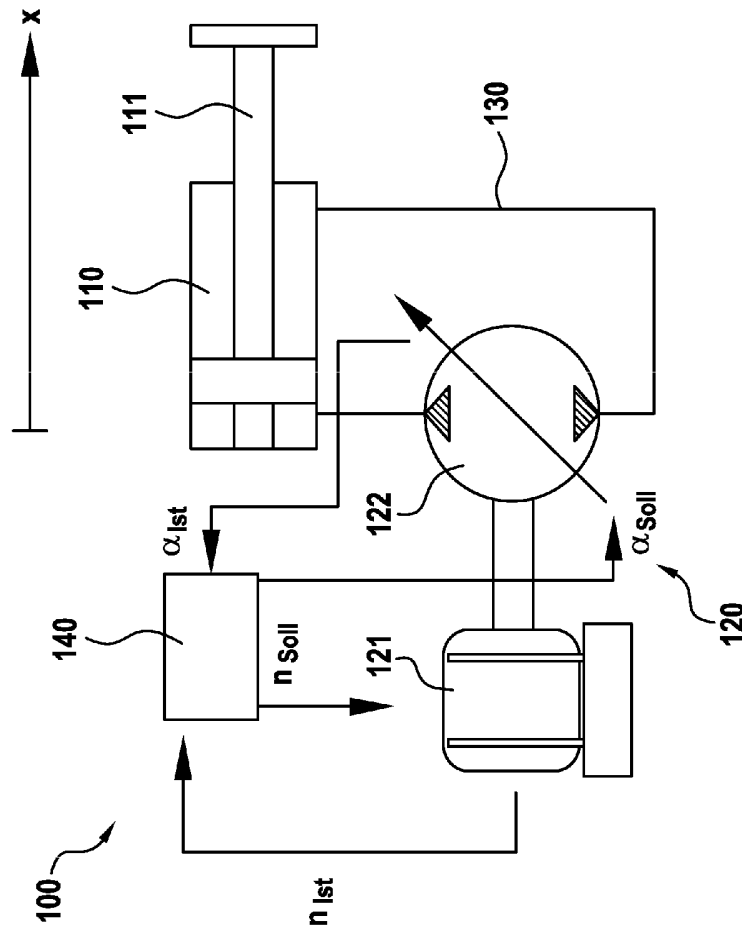


Fig. 1

2 / 2

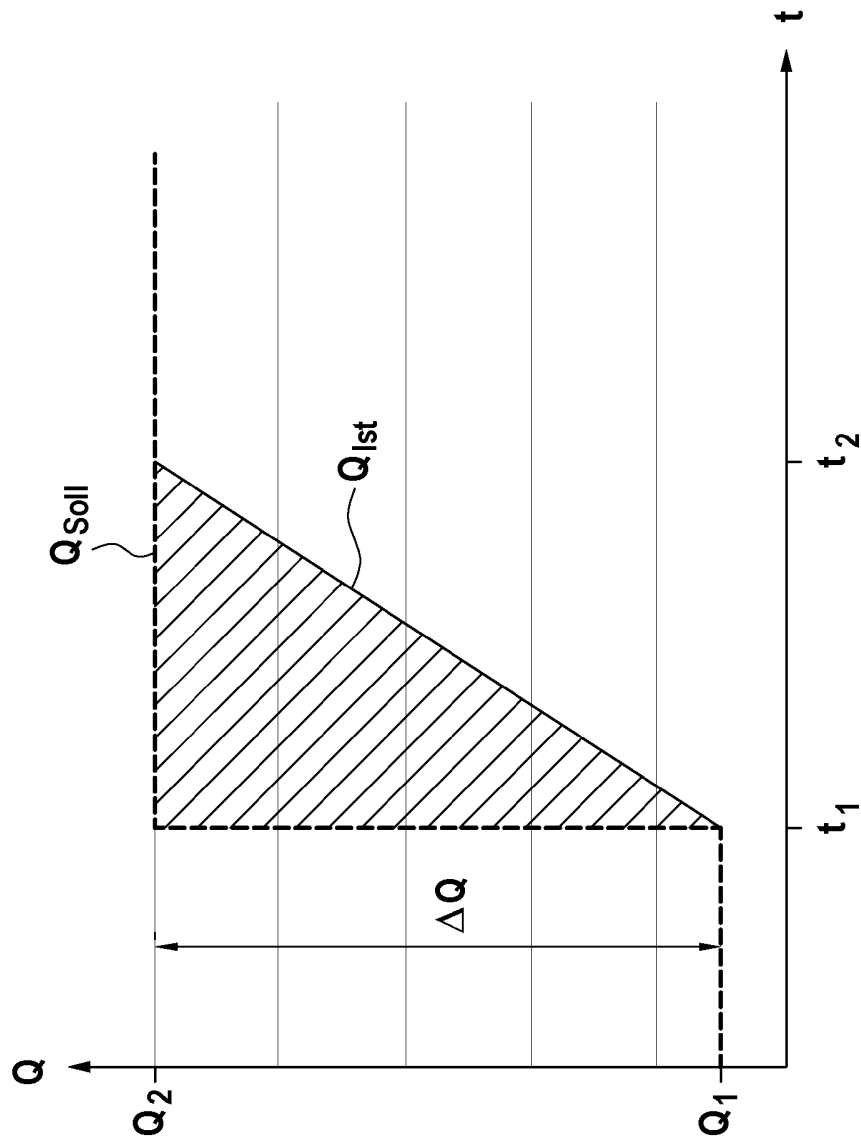


Fig. 2