

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50328/2020 (51) Int. Cl.: **F15B 21/08** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 17.04.2020 **F15B 11/02** (2006.01)
(45) Veröffentlicht am: 15.09.2024 **G05B 13/04** (2006.01)
G05D 16/20 (2006.01)
F04B 49/06 (2006.01)

(30) Priorität:
03.05.2019 DE 102019206315.2 beansprucht.

(73) Patentinhaber:
Robert Bosch GmbH
70442 Stuttgart (DE)

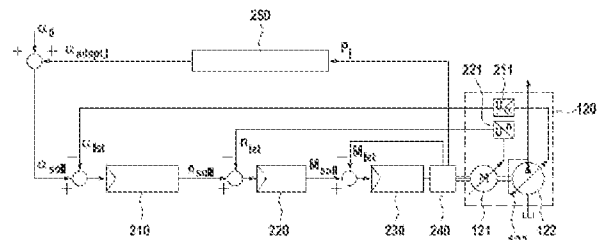
(56) Entgegenhaltungen:
EP 0062072 A1
CN 106499614 A
DE 102013006137 A1
DE 102014001981 A1

(74) Vertreter:
Puchberger & Partner Patentanwälte
1010 Wien (AT)

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

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für mindestens einen hydraulischen Aktor (110) einer zyklisch arbeitenden Maschine, wobei der Aktor (110) 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 auf einen Soll-Volumenstrom und/oder ein Ist-Förderdruck auf einen Soll-Förderdruck durch Vorgabe eines Drehzahlsollwerts (n_{Soll}) und eines Sollwerts (α_{Soll}) für eine das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße geregelt werden, wobei ein Sollwert (α_{Soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße für wenigstens einen bestimmten Zeitpunkt während eines Zyklus der Maschine durch Variation des Sollwerts und Auswerten der elektrischen Leistung (P_i) des drehzahlvariablen Antriebs (121) für den wenigstens einen Zeitpunkt über mehrere Zyklen ermittelt wird.

Fig. 2



Beschreibung

VERFAHREN UND REGELSCHALTUNG ZUR REGELUNG EINER DRUCKMITTELZUFUHR FÜR EINEN HYDRAULISCHEN AKTOR

[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] Um eine solche Pumpe in einer zyklisch arbeitenden Maschine (d.h. mit vorgegebenem Sollvolumenstrom- und/oder Solldruckverlauf), z.B. in Spritzgieß-, Stanz- oder Biegeprozessen, mit gutem Wirkungsgrad zu betreiben, kann ein Solldrehzahlverlauf für ein bestimmtes Verdrängervolumen mit einem ausreichend optimalen Wirkungsgrad in einem Lernverfahren ermittelt werden, wie in der EP 1 236 558 B1 beschrieben.

[0004] In der DE 10 2009 018 071 A1 wird ein Verfahren zur Regelung einer Druckmittelzufuhr offenbart, um mit einer solchen Pumpe einen hydraulischen Aktor einer zyklisch arbeitenden Maschine zu betreiben. Hierbei werden sowohl eine optimale Antriebsdrehzahl als auch ein Fördervolumen für einen geforderten Druck und einen geforderten Volumenstrom bestimmt.

[0005] In der DE 10 2013 006 137 A1 zeigt ein Verfahren zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für mindestens einen hydraulischen Aktor, der von einer drehzahlvariablen Verstellpumpe, bei der ein in einem Verdrängervolumen je Arbeitsspiel verstellbares Förderwerk von einem drehzahlvariablen Antrieb angetrieben wird, mit einer Druckmittelmenge versorgt wird, die durch ein vorgegebenes Druck- und/oder Volumenstrom-Profil bestimmt ist, wobei ein Drehzahlswert und ein Sollwert für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße für einen Verfahrensablauf vorgegeben werden, indem ein modellbasiertes Optimierungsproblem, das durch eine Zielfunktion für den Verfahrensablauf vorgegeben wird, gelöst wird.

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.

[0007] Im Rahmen der Erfindung wird eine Methode vorgestellt, wie drehzahlvariable Verstellpumpen in zyklischen Maschinen, d.h. bei sich wiederholenden Arbeitsschritten, einen energieeffizienten Betrieb auf besonders einfache Weise einlernen können. Dazu wird ein Sollwert für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße, z.B. einen Schwenkwinkel, für wenigstens einen bestimmten Zeitpunkt während eines Zyklus der Maschine durch Variation des Sollwerts und Auswerten der elektrischen Leistung des drehzahlvariablen Antriebs für den wenigstens einen Zeitpunkt über mehrere Zyklen ermittelt. Vorzugsweise wird ein Sollwertverlauf für eine durch mehrere Zeitpunkte bestimmte Zeitspanne in Form eines Sollwerts je Zeitpunkt ermittelt. In diesem Fall wird zweckmäßigerweise auch eine integrierte Leistung bzw. Energie für die Auswertung herangezogen. Gewünschtenfalls wird ein Sollwertverlauf für den gesamten Zyklus ermittelt, um so den gesamten Zyklus zu optimieren.

[0008] Die Erfindung ermöglicht es, unter Auswertung von geeigneten Größen einen energieop-

timalen bzw. zumindest energiesparenden Verlauf der Stellgrößen zu wählen. Das Verfahren ermöglicht, modellfrei während des zyklischen Betriebs einer hydraulischen Maschine die Energieeffizienz solange zu verbessern, bis sie aus Sicht des Gesamtsystems ausreichend gut, vorzugsweise nahe dem Optimum ist. Somit können auch Fremdkomponenten oder Komponenten, für die keine Modelle vorhanden sind, optimal angesteuert werden.

[0009] Die Funktion kann einen möglichst geringen Gesamtenergiebedarf eines Zyklus ermitteln. Mit Hilfe zweier Stellgrößenfreiheitsgrade, welche die Zustandsgrößen eines hydraulischen Regelkreises regeln, lässt sich eine große Vielfalt (theoretisch unendlich, praktisch nicht unendlich) an Kombinationsmöglichkeiten für einen hydraulischen Arbeitspunkt ansteuern. Vorzugsweise ergibt sich jedoch zu jedem Zeitpunkt ein Drehzahlsollwert aus dem Sollwert für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße und dem einzuhaltenden Volumenstrom bzw. Druck, so dass bereits durch Vorgabe des Sollwerts für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße alle Freiheitsgrade bestimmt werden.

[0010] Insbesondere kann der Sollwert für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße einem Verdrängervolumen-Regelglied vorgegeben werden, welches den Drehzahlsollwert als Stellgröße ausgibt. Es kann sich dabei beispielsweise um ein Porportional- und/oder Integral- und/oder Differenzial-Regelglied handeln.

[0011] Durch die Erfindung kann während der Laufzeit ähnlich einer iterativ lernenden Regelung (ILR) (engl. iterative learning control (ILC)) über „Versuch und Irrtum“ und anschließendem Gradientenverfahren bzw. Gradientenabstieg ein Fördervolumenprofil ermittelt werden. Insbesondere kann dabei durch Minimieren der Leistung ein optimaler Schwenkwinkel und Drehzahlverlauf für die Regelaufgabe gefunden werden. Das Gradientenverfahren, auch Verfahren des steilsten Abstiegs genannt, ist ein Verfahren, das in der Numerik eingesetzt wird, um allgemeine Optimierungsprobleme zu lösen. Dabei geht man (am Beispiel eines Minimierungsproblems) von einem Näherungswert aus. Von diesem schreitet man in Richtung des negativen Gradienten (der die Richtung des steilsten Abstiegs von diesem Näherungswert angibt) fort, bis man keine numerische Verbesserung mehr erzielt.

[0012] Eine bevorzugte Ausgestaltung umfasst, eine erste elektrische Leistung des drehzahlvariablen Antriebs für einen ersten Zeitpunkt und einen ersten Sollwert für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße sowie eine zweite elektrische Leistung für einen zweiten Zeitpunkt und einen zweiten Sollwert zu ermitteln, wobei ein dritter Sollwert in Abhängigkeit von einer Differenz zwischen der zweiten und der ersten elektrischen Leistung bestimmt wird. Somit kann besonders einfach die Variation des Sollwerts in Kenntnis der Auswirkungen auf die Leistung durchgeführt werden.

[0013] Vorzugsweise wird der dritte Sollwert in Abhängigkeit von einem Vorzeichen der Differenz zwischen der ersten und der zweiten elektrischen Leistung bestimmt. Nimmt die Leistung zwischen dem ersten und zweiten Zeitpunkt ab, ist die Differenz also negativ, ist die Richtung der Sollwertveränderung korrekt. Andernfalls wird die Richtung zweckmäßigerweise umgekehrt. Dies lässt sich beispielsweise besonders einfach implementieren, indem der dritte Sollwert als Summe des zweiten Sollwerts und eines Sollwertinkrements, multipliziert mit dem Vorzeichen der Differenz zwischen der ersten und der zweiten elektrischen Leistung und dem Vorzeichen der Differenz zwischen dem ersten und dem zweiten Sollwert bestimmt wird. Somit kann iterativ von Zyklus zu Zyklus der Sollwert einem (zumindest lokalen) Minimum angenähert werden. Das Sollwertinkrement kann je nach konkretem Anwendungsfall ausgewählt werden. Der Wert des Sollwertinkrements kann immer fest sein. Er kann jedoch auch variabel sein und beispielsweise vom Wert der Differenz zwischen der ersten und der zweiten elektrischen Leistung abhängen.

[0014] Vorteilhafterweise wird der Soll-Förderdruck mittels einer Druckwaage am Förderwerk, genauer mittels einer dem Förderwerk parallel geschalteten Druckwaage, vorgegeben. Der Soll-Druck an der Druckwaage kann insbesondere mechanisch, hydraulisch oder elektrisch eingestellt werden. Somit können etablierte Druckregelungen im Rahmen der Erfindung verwendet werden.

[0015] Bei einer Lösung mit Druckwaage ist vorteilhafterweise die Druckwaage so mit dem För-

derwerk gekoppelt, dass eine Druckdifferenz zwischen Istdruck und Solldruck zu einer Veränderung des Verdrängervolumen je Arbeitsspiel führt. zu diesem Zweck kann beispielsweise ein Verstellmechanismus des Förderwerks (z.B. zur Verstellung des Schwenkwinkels) mit der Druckwaage gekoppelt sein. Bei dieser Ausführungsform besteht zwar keine direkte Kopplung zwischen Sollwert (α_{Soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße (z.B. Schwenkwinkel) und dem Istwert, jedoch wirkt sich im Rahmen der Regelung eine Veränderung des Sollwerts letztendlich auch auf den Istwert aus.

[0016] Vorzugsweise wird die elektrische Leistung des drehzahlvariablen Antriebs als Zwischenkreisleistung eines Zwischenkreises des drehzahlvariablen Antriebs bestimmt (siehe z.B. DE 10 2007 016 330 A1). Dies ist besonders vorteilhaft, da die aktuelle Zwischenkreisleistung in modernen Antriebsversorgungsgeräten (Umrichter bzw. Inverter) üblicherweise bekannt ist und ausgelesen werden kann. Somit kann diese Größe sehr einfach einer weiteren Verarbeitung zugeführt werden.

[0017] Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät einer drehzahlvariablen Verstellpumpe, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

[0018] 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.

[0019] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0020] 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.

[0021] Die Erfindung ist anhand eines Ausführungsbeispiels in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

FIGURENBESCHREIBUNG

[0022] Figur 1 zeigt einen Ausschnitt einer hydraulischen Maschine, die erfindungsgemäß betrieben werden kann.

[0023] Figur 2 zeigt einen Regelkreis gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0024] In Figur 1 ist ein Ausschnitt einer hydraulischen Maschine 100, wie sie der Erfindung zugrunde 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.

[0025] 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 Solldrehzahl n_{Soll} sowie einen Sollschwenkwinkel α_{Soll} vor. Zur Regelung der Stellgrößen ist jeweils eine Rückfüh-

nung der Istwerte n_{Ist} sowie α_{Ist} vorgesehen. Dies kann unter Einsatz herkömmlicher Sensoren bewerkstelligt werden.

[0026] In Figur 2 ist ein Regelkreis gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung dargestellt, wie er programmtechnisch in einem Steuergerät implementiert sein kann. Dabei ist eine Kaskadenregelung dargestellt, bei welcher einem beispielsweise als Schwenkwinkelregler 210 ausgebildeten Verdrängervolumen-Regelglied ein Drehzahlregler 220 und diesem wiederum ein Drehmomentregler 230 unterlagert sind. Ausgangsgröße des Schwenkwinkelreglers 210 ist dementsprechend die Solldrehzahl n_{Soll} , Ausgangsgröße des Drehzahlreglers 220 ein Solldrehmoment M_{Soll} . Die zugehörigen Istwerte M_{Ist} , n_{Ist} sowie α_{Ist} werden, ggf. nach Messung durch entsprechende Messwertgeber 211, 221 an der Regelstrecke (drehzahlvariable Verstellpumpe 120), rückgeführt.

[0027] Die eigentliche Schwenkwinkel-, Drehzahl- bzw. Drehmomentregelung ist hier jeweils beispielsweise mittels eines PI-Reglers realisiert, dem ein Regelfehler (Differenz zwischen Sollwert und Istwert) zugeführt wird. Die vom Regler ausgegebene Stellgröße wirkt auf das entsprechende nachgeschaltete Element.

[0028] Der Drehmomentregler 230 steuert ein als Umrichter 240 ausgebildetes Antriebsversorgungsgerät an. In dem Umrichter 240 wird die Zwischenkreisleistung P erfasst und an ein Lernglied 250 ausgegeben, welches zum iterativen Lernen eines optimalen Schwenkwinkelsollwerts ausgebildet ist.

[0029] In der gezeigten Ausführungsform erfolgt die Druckregelung ausschließlich über die Schwenkwinkelverstellung des Förderwerks 122. Dafür wird der Systemdruck bzw. Druckunterschied über das Förderwerk auf eine Druckwaage 123 der Verstellpumpe 120 geführt. Weicht der Istdruck von dem beispielsweise mechanisch eingestellten Solldruck ab, kann das Fördervolumen durch Nachführen des Schwenkwinkels angepasst und die Abweichung ausgeregelt werden. Um den Antrieb 121 für die Optimierung der Energieeffizienz in einen variablen Betriebspunkt versetzen zu können, ist es erforderlich, die Drehzahl anzupassen. Die Wirkungsweise der Druckwaage kann für eine Optimierung durch Verschiebung des Betriebspunktes genutzt werden, da die druckgeregelte Pumpe eine Veränderung der Drehzahl mit Hilfe des Schwenkwinkels ausregelt. Somit wird der Schwenkwinkel indirekt vorgebar.

[0030] In dem Lernglied wird - für wenigstens einen bestimmten Zeitpunkt im Zyklus - ein Führungswert α_0 durch Addition (oder Subtraktion) eines Sollwertinkrements $\alpha_{adapt,i}$ iterativ von einem (ersten) Zyklus $i-1$ zum nächsten (zweiten) Zyklus i verändert, um den Sollwert α_{Soll} zu erhalten. Gleichzeitig wird die Leistung P_i in dem Zyklus i bestimmt und mit der Leistung des vorherigen Zyklus P_{i-1} verglichen. Basierend darauf wird dann der Sollwert für den nächsten (dritten) Zyklus $i+1$ bestimmt. Dies kann insbesondere unter Einsatz eines bekannten Gradientenverfahrens erfolgen.

[0031] Auf diese Weise kann für jeden Zeitpunkt innerhalb des Zyklus der Schwenkwinkelsollwert α_{Soll} mit dem geringsten Leistungsbedarf P ermittelt werden.

[0032] Ein derartiges Verfahren kann insbesondere vorteilhaft eingesetzt werden, um vorgegebene repetitive Arbeits- bzw. Bewegungsprofile von Maschinen energetisch zu optimieren. Ein solches Bewegungsprofil umfasst insbesondere einen zeitabhängigen Verlauf einer Lage bzw. Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung und/oder Kraft.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung einer Druckmittelzufuhr für mindestens einen hydraulischen Aktor (110) einer zyklisch arbeitenden Maschine, wobei der Aktor (110) 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 auf einen Soll-Volumenstrom und/oder ein Ist-Förderdruck auf einen Soll-Förderdruck durch Vorgabe eines Drehzahlsollwerts (n_{Soll}) und eines Sollwerts (α_{Soll}) für eine das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße geregelt werden, wobei ein Sollwert (α_{Soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße für wenigstens einen bestimmten Zeitpunkt während eines Zyklus der Maschine durch Variation des Sollwerts und Auswerten der elektrischen Leistung (P_i) des drehzahlvariablen Antriebs (121) für den wenigstens einen Zeitpunkt über mehrere Zyklen ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Sollwert (α_{Soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße für wenigstens einen bestimmten Zeitpunkt während eines Zyklus der Maschine durch Minimieren der elektrischen Leistung (P_i) des drehzahlvariablen Antriebs (121) für den wenigstens einen Zeitpunkt über mehrere Zyklen ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Minimieren durch Gradientenabstieg erfolgt.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine erste elektrische Leistung (P_i) des drehzahlvariablen Antriebs (121) für einen ersten Zeitpunkt und einen ersten Sollwert (α_{Soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße ermittelt wird, wobei eine zweite elektrische Leistung (P_i) des drehzahlvariablen Antriebs (121) für einen zweiten Zeitpunkt und einen zweiten Sollwert (α_{Soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße ermittelt wird, wobei ein dritter Sollwert (α_{Soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße in Abhängigkeit von einer Differenz zwischen der zweiten und der ersten elektrischen Leistung bestimmt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der dritte Sollwert (α_{Soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße in Abhängigkeit von einem Vorzeichen der Differenz zwischen der zweiten und der ersten elektrischen Leistung bestimmt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei der dritte Sollwert als Summe des zweiten Sollwerts und eines Sollwertinkrements, multipliziert mit dem Vorzeichen der Differenz zwischen der zweiten und der ersten elektrischen Leistung und dem Vorzeichen der Differenz zwischen dem ersten und dem zweiten Sollwert bestimmt wird.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei für den wenigstens einen bestimmten Zeitpunkt der Drehzahlsollwert (n_{Soll}) automatisch in Abhängigkeit von dem Sollwert (α_{Soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße und dem Soll-Volumenstrom und/oder dem Soll-Förderdruck vorgegeben wird.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Sollwert (α_{Soll}) für die das Verdrängervolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße einem Verdrängervolumen-Regelglied (210) vorgegeben wird, welches den Drehzahlsollwert (n_{Soll}) als Stellgröße ausgibt.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Soll-Förderdruck mittels einer Druckwaage (123) am Förderwerk (122) vorgegeben wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Druckwaage so mit dem Förderwerk gekoppelt, dass eine Druckdifferenz zwischen Istdruck und Solldruck zu einer Veränderung des Verdrängervolumens je Arbeitsspiel führt.
11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die elektrische Leistung (P_i) des drehzahlvariablen Antriebs (121) als Zwischenkreisleistung eines Zwischenkreises des drehzahlvariablen Antriebs (121) bestimmt wird.

12. Recheneinheit, die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.
13. Computerprogramm, das eine Recheneinheit veranlasst, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 durchzuführen, wenn es auf der Recheneinheit ausgeführt wird.
14. Maschinenlesbares Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm nach Anspruch 13.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

1 / 2

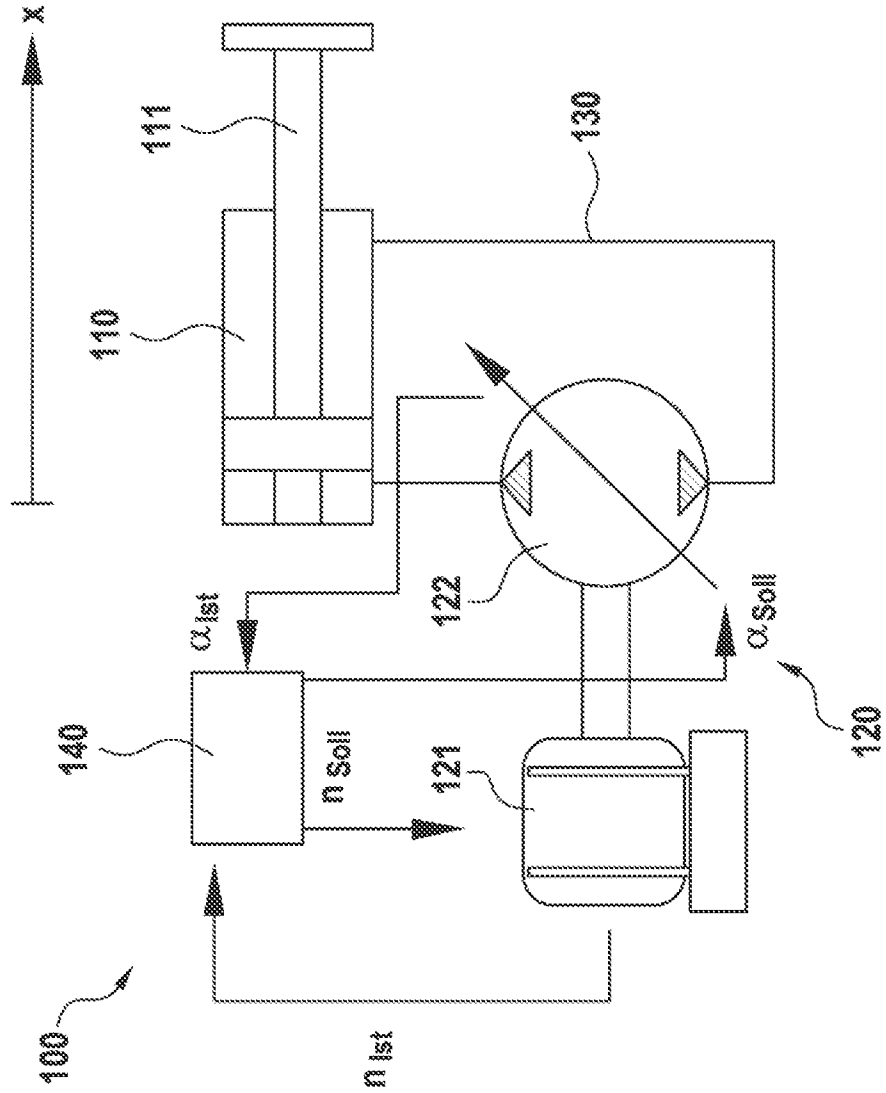


Fig. 1

2 / 2

Fig. 2

