



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 210 117.8**

(22) Anmeldetag: **14.09.2021**

(43) Offenlegungstag: **16.03.2023**

(51) Int Cl.: **F16H 61/40 (2010.01)**

(71) Anmelder:

**Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter  
Haftung, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:

**Voelk, Peter, 89073 Ulm, DE; Spang, Joerg, 89233  
Neu-Ulm, DE; Joechle, Ralf, 89081 Ulm, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

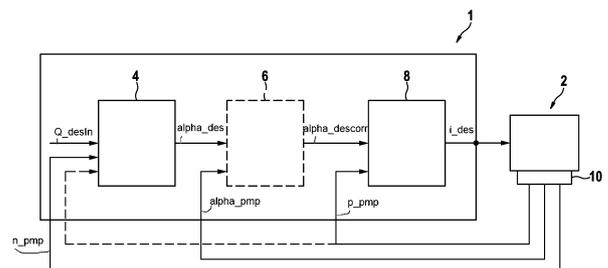
DE	100 37 676	C1
DE	103 12 698	A1
DE	10 2008 059 029	A1
DE	10 2013 213 896	A1
DE	10 2013 217 708	A1
DE	10 2015 207 258	A1
DE	10 2016 216 136	A1
DE	10 2019 210 003	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Verfahren für einen hydraulischen Antrieb, Steuereinheit, Computerprogramm, und maschinenlesbares Speichermedium**

(57) Zusammenfassung: Offenbart ist ein Verfahren mit einem hydraulischen Antrieb, der wenigstens eine Hydromaschine mit verstellbarem Verdrängungsvolumen hat, die zur Druckmittelversorgung wenigstens eines hydraulischen Verbrauchers, orientiert an dessen Last elektronisch regelbar ist, zumindest mit Schritten: Erfassen einer Ist-Drehzahl und eines Soll-Volumenstroms, jeweils der Hydromaschine; und Berechnen eines Soll-Verdrängungsvolumens der Hydromaschine in Abhängigkeit der Ist-Drehzahl und des Soll-Volumenstroms.



**Beschreibung**

## Technisches Gebiet

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren für einen hydraulischen Antrieb, eine Steuereinheit, ein Computerprogramm und ein computerlesbares Speichermedium.

## Stand der Technik

**[0002]** Bekannte mengengesteuerte hydraulische Antriebe werden üblicherweise mit hydrostatischen Pumpen mit einer hydraulisch-mechanischen Regelung einer das Fördervolumen bestimmenden Größe realisiert. Letztgenannte ist von der Bauweise abhängig. Im Falle einer Axialkolbenmaschine in Schrägscheibenbauweise ist es beispielsweise ein Schwenkwinkel der Schrägscheibe. Diese herkömmliche Regelung des Schwenkwinkels, basierend auf der Winkelerfassung mittels eines Sensors, bietet den Vorteil einer hohen Fördervolumen- und damit Mengengenauigkeit gegenüber einer druckgeregelten Pumpe. Allerdings ist damit eine einfache Möglichkeit der Druckregelung nicht mehr möglich, sodass eine Mengensteuerung bzw. Schwenkwinkelregelung zusammen mit einer Druckregelung bei herkömmlich hydraulisch-mechanisch schwenkwinkelgeregelten Pumpen nur über eine aufwändige Erweiterung der Ansteuerung realisiert werden kann.

**[0003]** So sind beispielsweise aus der DE 10 2015 207 258 A1, der DE 10 2013 213 896 A1 und der DE 10 2013 217 708 A1 hydraulische Antriebe bekannt, bei denen zur Regelung eines Drehmoments ein Soll-Druck ermittelt wird und der Antrieb nach dem Druck geregelt wird.

**[0004]** Die DE 10 2019 210 003 A1 offenbart ein Verfahren, einen vorgegebenen Schwenkwinkel in einen Druck, genauer gesagt in eine Soll-Trajektorie des Drucks, umzurechnen und eine hydraulische Maschine nach dem Druck zu regeln. All diese Offenbarungen haben gemeinsam, dass nicht nach einem vorgegebenen Volumenstrom, sondern nur nach dem Sollschwenkwinkel oder dem Druck als Regelgröße geregelt wird.

**[0005]** Die offenbarten Hydromaschinen sind druckgeregelt, können aber keinen konstanten Volumenstrom ausgeben. Die Vorgabe des Differenzdrucks oder des festen Schwenkwinkels führen dazu, dass sich der ausgegebene Volumenstrom der Hydraulikpumpe unter der Einwirkung von äußeren Kräften/Lasten bzw. Umweltbedingungen (beispielsweise der Temperatur) ändert. Die beschriebene Änderung des ausgegebenen Volumenstroms mag nicht in allen Situationen gewollt sein, beispielsweise, wenn

einem Verbraucher eine konstante Volumenstrommenge zur Verfügung gestellt werden soll.

**[0006]** Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren mit einem hydraulischen Antrieb mit einer mit verstellbarem Verdrängungsvolumen ausgestalteten und orientiert an einer Last eines Verbrauchers elektronisch regelbaren Hydromaschine zu schaffen, mit dem die Hydromaschine sowohl gemäß einem angeforderten Volumenstrom, als auch nach einer weiteren Betriebsgröße der Hydromaschine geregelt werden kann. Weitere Aufgabe sind, eine Steuereinheit zu schaffen, die eingerichtet ist, dieses Verfahren auszuführen, ein Computerprogramm zu schaffen, welches einen Prozessor mit Hardware zur Ausführung von Schritten des Verfahrens veranlasst, und zuletzt ein maschinenlesbares Speichermedium mit dem darauf gespeicherten Computerprogramm zu schaffen.

**[0007]** Die erste Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die weiteren Aufgaben werden gelöst durch den Anspruch 11, den Anspruch 13 und den Anspruch 14. Vorteilhaftige Weiterbildungen der jeweiligen Erfindung sind Gegenstand der jeweils abhängigen Unteransprüche.

**[0008]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren, das mit einem hydraulischen Antrieb vorgesehen ist. Dieser hat wenigstens eine Hydromaschine mit verstellbarem Verdrängungsvolumen, die zur Druckmittelversorgung wenigstens eines hydraulischen Verbrauchers vorgesehen ist. An dessen Last - insbesondere Lastdruck - orientiert, ist die Hydromaschine elektronisch regelbar. Ein Regelkreis oder Regler der Hydromaschine ist somit nicht „klassisch“ hydraulisch-mechanisch ausgebildet, sondern basiert auf einer allein elektronischen Signalverarbeitung im Regelkreis. Aus dem Hause der Anmelderin sind solche Hydromaschinen als „Electronified“ klassifiziert und können im offenen oder im geschlossenen Kreis mit dem wenigstens einen Verbraucher verbunden sein. Das Verfahren weist dabei folgende Schritte auf:

Erfassen einer Ist-Drehzahl und eines Soll-Volumenstroms, jeweils der Hydromaschine; und

**[0009]** Berechnen eines Soll-Verdrängungsvolumens der Hydromaschine oder eines mechanischen Soll-Äquivalents dessen, insbesondere eines Schwenkwinkels, in Abhängigkeit der Ist-Drehzahl und des Soll-Volumenstroms.

**[0010]** In Abhängigkeit des Soll-Verdrängungsvolumens oder mechanischen Soll-Äquivalents, sowie in Abhängigkeit wenigstens eines Parameters des Antriebes oder in Abhängigkeit wenigstens einer

Messgröße des Antriebes erfolgt wahlweise einer der Schritte:

Regeln des Verdrängungsvolumens gemäß dem Soll-Verdrängungsvolumen oder mechanischen Soll-Äquivalent und Limitieren einer Betriebsgröße der Hydromaschine in Abhängigkeit des wenigstens einen Parameters oder;

**[0011]** Steuern des Verdrängungsvolumens gemäß dem Soll-Verdrängungsvolumen oder mechanischen Soll-Äquivalent und Regeln einer Betriebsgröße der Hydromaschine in Abhängigkeit der wenigstens einen Messgröße.

**[0012]** Der wenigstens eine Parameter ist beispielsweise ein Begrenzungsparameter, der einen maximalen Druck oder Differenzdruck, ein maximales Drehmoment oder eine maximale Leistung der Hydropumpe oder dergleichen definiert. Die wenigstens eine Messgröße des Antriebes ist beispielsweise der Druck oder Differenzdruck der Hydropumpe.

**[0013]** Im Verfahren wird somit der Soll-Volumenstrom vorgegeben, der mittels der aktuellen Drehzahl in das Soll-Verdrängungsvolumen oder dessen Soll-Äquivalent umgerechnet wird. Ein oder mehrere charakteristische Parameter des Antriebes wird/werden übernommen und die eine oder mehreren Messgrößen wird/werden erfasst. Die Ansteuerung der Hydromaschine weist erfindungsgemäß zwei alternative Modi auf. Im ersten wird das Verdrängungsvolumen oder Äquivalent in Abhängigkeit des Soll-Verdrängungsvolumens oder Soll-Äquivalents geregelt und die Betriebsgröße der Hydromaschine wird in Abhängigkeit des wenigstens einen Parameters limitiert, insbesondere um den Antrieb vor Überlastung zu schützen. In dem anderen Modus wird das Verdrängungsvolumen oder Äquivalent gemäß dem Soll-Verdrängungsvolumen oder Soll-Äquivalent gesteuert und die Betriebsgröße der Hydromaschine wird in Abhängigkeit der wenigstens einen Messgröße geregelt.

**[0014]** Eine Stellgröße der Hydromaschine ist ihr verstellbares Verdrängungsvolumen. Das zugehörige Stellglied ist beispielsweise eine in ihrem Schwenkwinkel verstellbare Schrägscheibe oder Schrägachse der Hydromaschine, wobei der Schwenkwinkel das mechanische Äquivalent zum Verdrängungsvolumen ist. Da es nicht möglich ist, mit nur einem Stellglied zwei Betriebsgrößen, also das Verdrängungsvolumen und die andere Betriebsgröße, zu regeln, wird die Betriebsgröße limitiert, wenn das Verdrängungsvolumen geregelt wird. Andersherum wird das Verdrängungsvolumen gesteuert, wenn die Betriebsgröße geregelt wird.

**[0015]** In einer Weiterbildung des Verfahrens wird das Soll-Verdrängungsvolumen oder Soll-Äquivalent in Abhängigkeit der wenigstens einen Messgröße in

einen Soll-Stellstrom zur Ansteuerung der Hydromaschine umgerechnet.

**[0016]** Im oben genannten zweiten Modus ist eine Steuerung des Verdrängungsvolumens und damit des Volumenstroms mit einer unterlagerten Regelung nach der Betriebsgröße realisiert. Dadurch ist die Regelung nach der Betriebsgröße bei konstantem Volumenstrom realisierbar.

**[0017]** Der wenigstens eine Parameter des Antriebes ist beispielsweise eine Kennzahl, die eine Limitierung der Betriebsgröße angibt. Wenn der Parameter über- oder unterschritten wird, dann wird die Ansteuerung des Verdrängungsvolumens überschrieben oder übersteuert.

**[0018]** Das Erfassen der Messgröße kann sensorisch durch eine geeignete Sensoreinheit erfolgen, oder es erfolgt durch Übergabe von einer neben-, unter- oder übergeordneten Steuereinheit. Im Falle der Ist-Drehzahl kann dies beispielsweise durch ein Steuergerät einer Antriebsmaschine erfolgen, über die die Hydromaschine antreibbar ist.

**[0019]** Für das Verdrängungsvolumen kann alternativ eine dem Verdrängungsvolumen zugrundeliegende Größe der Hydromaschine, also das mechanische Äquivalent des Verdrängungsvolumens, verwendet werden, die/das insbesondere von der Bauart der Hydromaschine abhängt. Im Falle der Ausgestaltung als Axialkolbenmaschine mit verstellbarer Schrägscheibe oder -achse ist dies beispielsweise ein Schwenkwinkel der Schrägscheibe oder -achse. Im Folgenden kann das Verdrängungsvolumen durch den Schwenkwinkel ersetzt werden und andersherum.

**[0020]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung wird das Soll-Verdrängungsvolumen in die Betriebsgröße der Hydromaschine umgerechnet und die Betriebsgröße wird limitiert, wenn das Verdrängungsvolumen geregelt wird. Die Betriebsgröße wird geregelt, wenn das Verdrängungsvolumen gesteuert wird.

**[0021]** Das Soll-Verdrängungsvolumen wird in einen Sollwert der Betriebsgröße umgerechnet. Wenn die Betriebsgröße geregelt wird, ist der Sollwert die Führungsgröße der Regelung. Die wenigstens eine Messgröße ist die Rückführung und der Stellstrom der Hydromaschine die Regelgröße der Regelung. Also überführt die Regelung nach der Betriebsgröße den Sollwert der Betriebsgröße in Abhängigkeit der wenigstens einen Messgröße in den Stellstrom.

**[0022]** Die Umrechnung des Verdrängungsvolumens in die Betriebsgröße, insbesondere den Druck, hat den Vorteil, dass keine Sensorik nötig ist, die das Verdrängungsvolumen erfasst. Der einzig

nötige Sensor ist die Erfassung der wenigstens einen Messgröße. Durch die Ersparnis des Sensors für das Verdrängungsvolumen können Kosten eingespart werden.

**[0023]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung ist die Betriebsgröße ein Druck, den die Hydromaschine bereitstellt und die Regelung ist eine Druckregelung, die den Druck der Hydromaschine in Abhängigkeit eines Soll-Drucks und der Messgröße regelt.

**[0024]** Das Soll-Verdrängungsvolumen wird in den Soll-Druck umgerechnet. Der Soll-Druck ist dann die Führungsgröße der Druckregelung. Die wenigstens eine Messgröße ist in diesem Fall beispielsweise ein Ist-Druck der Hydromaschine. Die Druckregelung überführt also einen Soll-Druck in Abhängigkeit des Ist-Drucks als Rückführung in den Stellstrom. Es wird also eine unterlagerte Druckregelung für die Hydromaschine realisiert.

**[0025]** Das Soll-Verdrängungsvolumen wird beispielsweise in eine Soll-Trajektorie des Drucks umgerechnet, die einen zeitlichen Zusammenhang zwischen dem Verdrängungsvolumen und dem Druck abbildet. Hierbei können zur Verfeinerung der Ansteuerung ergänzend Zeitableitungen der Soll-Trajektorie ermittelt werden.

**[0026]** Die Hydromaschine kann druckgeregelt betrieben werden, während ein konstanter Volumenstrom durch die Verdrängungsvolumensteuerung bereitgestellt wird. Es wird also eine Mengensteuerung, bzw. eine Winkelregelung mit einer druckgeregelt Hydromaschine realisiert. Ein Drucksensor ist in bekannten hydraulischen Antrieben standardmäßig verbaut. Durch den Ist-Druck als Messgröße fallen also keine Mehrkosten an der Sensorik des hydraulischen Antriebs an. Ferner können durch die Umrechnung des Verdrängungsvolumens in den Druck Drucklimitierungen einfach eingehalten werden.

**[0027]** Bei der Betriebsgröße der Hydromaschine muss es sich nicht zwangsläufig um den Druck handeln. Vielmehr kann es sich auch um ein Drehmoment, eine Leistung oder um einen Strom handeln.

**[0028]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung umfasst die Berechnung des Soll-Verdrängungsvolumens auf Basis des Soll-Volumenstroms und der Ist-Drehzahl die folgenden Schritte. Erstens Berechnen eines theoretischen Volumenstroms aus dem Soll-Volumenstrom, der Ist-Drehzahl und einem maximalen Pumpenfördervolumen und Berechnen eines Verdrängungsvolumens mittels des berechneten Volumenstroms, der aktuellen Pumpendrehzahl und des maximalen Pumpenfördervolumens.

**[0029]** Der Soll-Volumenstrom, der beispielsweise aus einer Bewegungsanforderung an den wenigstens einen hydraulischen Verbraucher resultiert, muss von der Hydropumpe bereitgestellt werden. Der Volumenstrom wird jedoch nicht direkt, sondern in Abhängigkeit des berechneten Soll-Verdrängungsvolumens geregelt bzw. gesteuert. Durch diese Umrechnung wird die Volumenstromvorgabe in eine Größe umgerechnet, in deren Abhängigkeit leicht geregelt bzw. gesteuert werden kann, da mit dem Schwenkwinkel der Hydromaschine die zugehörige Stellgröße verfügbar ist.

**[0030]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung wird eine Gesamtabweichung vom theoretischen Volumenstrom berechnet. Die Gesamtabweichung resultiert aus einem oder mehreren Einflüssen, die auf den Volumenstrom wirken. Zu den Einflüssen mit großer Wirkung zählen insbesondere der Druck, die Drehzahl und/ oder der Schwenkwinkel.

**[0031]** In einer bevorzugten Weiterbildung wird die Gesamtabweichung daher als Summe einer hochdruckabhängigen Volumenstromabweichung, einer drehzahlabhängigen Volumenstromabweichung und einer schwenkwinkelabhängigen Volumenstromabweichung ermittelt.

**[0032]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung wird aus dem theoretischen Volumenstrom und der Gesamtabweichung ein modifizierter Soll-Volumenstrom berechnet und der modifizierte Soll-Volumenstrom wird in das modifizierte Verdrängungsvolumen umgerechnet.

**[0033]** Durch die Berechnung der Gesamtabweichung ausgehend vom theoretischen Volumenstrom kann ein modifizierter Volumenstrom berechnet werden. Der modifizierte Volumenstrom ist die Summe aus dem theoretischen Volumenstrom und der Gesamtabweichung. Durch Umrechnen des modifizierten Volumenstroms in das modifizierte Verdrängungsvolumen kann das Verdrängungsvolumen genauer bestimmt werden als es durch die Umrechnung vom theoretischen Volumenstrom in das Verdrängungsvolumen möglich ist. Durch eine möglichst genaue Berechnung des Verdrängungsvolumens in Abhängigkeit der störenden Einflüsse kann das Verdrängungsvolumen möglichst genau gesteuert werden. Das berechnete Verdrängungsvolumen ist die Eingangsgröße für die Regelung bzw. Steuerung in Abhängigkeit des Verdrängungsvolumens. Abweichungen zwischen dem berechneten Verdrängungsvolumen und dem tatsächlichen Verdrängungsvolumen resultieren also in einer ungenaueren Ansteuerung der Hydromaschine.

**[0034]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung wird das berechnete Soll-Verdrängungsvolumen mittels einer erfassten Messgröße korrigiert. Wenn eine

hohe Genauigkeit gefordert wird, wird das vorstehend berechnete Soll-Verdrängungsvolumen durch eine Verdrängungsvolumenregelung korrigiert. Dazu wird eine Messgröße erfasst. Anhand dieser erfassten Messgröße wird das Verdrängungsvolumen korrigiert bzw. geregelt. Die Messgröße kann beispielsweise der Schwenkwinkel der Hydromaschine sein. Wenn der Schwenkwinkel erfasst wird und als die Messgröße in die Verdrängungsvolumenregelung zurückgeführt wird, ist die Korrektur des Verdrängungsvolumens eine Schwenkwinkelregelung.

**[0035]** Die Verdrängungsvolumenregelung weist einen Kostennachteil gegenüber einem hydraulischen Antrieb ohne die Verdrängungsvolumenregelung auf, da ein Sensor zum Erfassen der Messgröße, in diesem Fall beispielsweise der Schwenkwinkel, benötigt wird. Die Verdrängungsvolumenregelung ermöglicht aber eine genauere Ansteuerung der Hydromaschine. Durch die Verdrängungsvolumenregelung werden Störeinflüsse wie beispielsweise Lastsprünge und/oder (Modell-) Ungenauigkeiten besser kompensiert als ohne die Verdrängungsvolumenregelung. Dadurch wird eine genauere Bereitstellung des gewünschten Volumenstromes ermöglicht.

**[0036]** Durch die Verdrängungsvolumenregelung lassen sich auch weitere Funktionen in dem hydraulischen Antrieb realisieren.

**[0037]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung regelt eine innere Regelschleife in Abhängigkeit der Betriebsgröße der Hydromaschine und eine äußere Regelschleife regelt das Verdrängungsvolumen. Dabei bilden die beiden Regelschleifen eine Kaskadenregelung.

**[0038]** Die äußere Regelschleife regelt das Verdrängungsvolumen. Das geregelte bzw. korrigierte Verdrängungsvolumen ist die Eingangsgröße für die Regelung der Betriebsgröße. Vorzugsweise handelt es sich dabei um die Druckregelung. Die Druckregelung rechnet das korrigierte Verdrängungsvolumen in den Soll-Druck um und regelt den Druck in Abhängigkeit des Soll-Drucks und der wenigstens einen Messgröße. Bei der wenigstens einen Messgröße handelt es sich vorzugsweise um den Ist-Druck.

**[0039]** Die kaskadierte Regelung erlaubt es, Vorgaben und Beschränkungen für den Volumenstrom, den Schwenkwinkel und den Druck gleichzeitig einzuhalten.

**[0040]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung wird zwischen einem Betriebsmodus mit einer Druckregelung und einem weiteren Betriebsmodus mit einer Verdrängungsvolumenregelung umgeschaltet. Bei manchen Anwendungen ist es gewünscht zwi-

schen dem Betriebsmodus mit einer Druckregelung und dem weiteren Betriebsmodus mit einer Verdrängungsvolumenregelung umschalten zu können. Durch die Verdrängungsvolumenregelung ist es möglich in dem einen Betriebsmodus nach dem Druck und in dem weiteren Betriebsmodus nach dem Verdrängungsvolumen bzw. dem Schwenkwinkel der Hydromaschine zu regeln.

**[0041]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung werden durch die Verdrängungsvolumenregelung Hystereeffekte der Hydromaschine kompensiert. Die Verdrängungsvolumenregelung korrigiert das Soll-Verdrängungsvolumen, das als Eingangsgröße in die Regelung der Hydromaschine eingegeben wird laufend. So können die Hystereeffekte der Hydromaschine kompensiert werden.

**[0042]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung wird die Verdrängungsvolumenregelung im Falle einer Limitierung der Betriebsgröße übersteuert. Im Falle der Limitierung der Betriebsgröße, beispielsweise bei einer Druckabschneidung, wird die Verdrängungsvolumenregelung übersteuert, um ein Aufziehen der Verdrängungsvolumenregelung zu verhindern.

**[0043]** Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung wird der Schwenkwinkel der Hydromaschine basierend auf weiteren Vorgaben, insbesondere weiteren Parametern, limitiert. Das Verfahren kann so beispielsweise eine Schwenkwinkellimitierung auf Basis dieser Vorgaben (beispielsweise einer HMI-Eingabe/-Einstellung und/oder einer Funktion zur Realisierung einer Betriebsstrategie) umsetzen.

**[0044]** Die Aufgabe der Erfindung wird ferner durch eine Steuereinheit gelöst, die ein erfindungsgemäßes Verfahren, das gemäß wenigstens einem Aspekt der vorangegangenen Beschreibung ausgestaltet ist, ausführt.

**[0045]** Die Steuereinheit weist vorzugsweise drei Abschnitte auf:

Als ersten Abschnitt eine Berechnungseinheit zur Berechnung des Soll-Verdrängungsvolumens aus dem Soll-Volumenstrom, insbesondere unter Berücksichtigung wenigstens einer der Einflüsse.

Als zweiten Abschnitt ein Verdrängungsvolumenregler, insbesondere Schwenkwinkelregler, der eine Abweichung zwischen dem Verdrängungsvolumen, das von der Berechnungseinheit berechnet wurde, und dem gemessenen Verdrängungsvolumen berechnet. Der Verdrängungsvolumenregler ist jedoch optional. Als dritten Abschnitt einen Pumpenregler, alternativ als Pumpentreiber bezeichnet, der das von der Berechnungseinheit und ggf. dem Verdrän-

gungsvolumenregler berechnete/ vorgegebene Soll-Verdrängungsvolumen in einen Stellstrom bzw. Steuerstrom für die Hydraulikmaschine überführt.

**[0046]** Die Berechnungseinheit rechnet den vorgegebenen Soll-Volumenstrom in das Soll-Verdrängungsvolumen unter Berücksichtigung des wenigstens einen Einflusses um. Der (optionale) Verdrängungsvolumenregler korrigiert das berechnete Verdrängungsvolumen, indem er das berechnete Soll-Verdrängungsvolumen mit der Messgröße, vorzugsweise dem erfassten Schwenkwinkel abgleicht, und eine Regelabweichung ausregelt. Der Pumpenregler überführt das von der Berechnungseinheit berechnete bzw. das von dem Verdrängungsvolumenregler ggf. korrigierte Soll-Verdrängungsvolumen in den Stellstrom zur Ansteuerung der Hydromaschine.

**[0047]** Die Berechnungseinheit ist dabei dem optionalen Verdrängungsvolumenregler vorgelagert und ermöglicht dadurch eine Steuerung, durch die der angeforderte Volumenstrom (möglichst genau) bereitgestellt wird. Hierbei können bei der Berechnung des Verdrängungsvolumens aus der Volumenstromvorgabe Störgrößen wie beispielsweise Leckageeinflüsse mitberücksichtigt und das Soll-Verdrängungsvolumen dementsprechend korrigiert werden. Die Höhe der zu kompensierenden Volumenstromabweichung kann beispielsweise in Abhängigkeit der aktuellen Pumpendrehzahl, des Pumpenwinkels und des Systemdrucks berechnet werden.

**[0048]** Die vorliegende Erfindung wird beispielsweise durch eine externe Ansteuerhardware, wie ein Steuergerät oder eine ECU und ein elektrisch verbundenes Ansteuergerät für die Hydraulikmaschine realisiert. Das Ansteuergerät ist dabei vorzugsweise ein elektrisch direktgesteuertes Druckregelventil, insbesondere Druckreduzierventil, über das beispielsweise ein Kolbenraum eines Stellzylinders mit Stelldruckmittel beaufschlagbar ist, von dem die oben genannte Schrägscheibe angelenkt ist.

**[0049]** Die Aufgabe der Erfindung wird ferner durch ein Computerprogramm gelöst, das dazu befähigt ist, ein Verfahren nach wenigstens einem Aspekt der vorangegangenen Beschreibung auszuführen.

**[0050]** Die Aufgabe der Erfindung wird schließlich durch ein maschinenlesbares Speichermedium gelöst, auf dem das Computerprogramm gespeichert ist.

**[0051]** Im Folgenden werden je ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens und einer erfindungsgemäßen Steuereinheit anhand der folgenden Figuren näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen elektronischen Steuereinheit für einen hydraulischen Antrieb, insbesondere für dessen Hydromaschine; und

**Fig. 2** eine schematische Darstellung einer Berechnungseinheit der elektronischen Steuereinheit gemäß **Fig. 1**.

**[0052]** **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen, elektronischen Steuereinheit 1 für einen hydraulischen Antrieb, insbesondere für eine Hydromaschine 2 des Antriebes. Die Hydromaschine 2 ist mittels elektrischer Ansteuerung in ihrem Verdrängungsvolumen  $V_g$  verstellbar. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist sie als Axialkolbenmaschine in Schrägscheibenbauweise mit verschwenkbarer Schrägscheibe ausgestaltet. Die Verstellung des Verdrängungsvolumens erfolgt durch Verstellen seines mechanischen Äquivalents, des Schwenkwinkels  $\alpha$  der Schrägscheibe. Im Folgenden bezieht sich daher die Beschreibung auf den Schwenkwinkel  $\alpha$ . Die Schrägscheibe ist im Ausführungsbeispiel von einem Verstellzylinder angelenkt (nicht dargestellt), der über ein elektrisch direkt ansteuerbares Druckreduzierventil mit Druckmittel beaufschlagbar ist, was je nach Beaufschlagung die Verstellung, einen konstanten Schwenkwinkel oder die Rückstellung bewirkt. Der Stell- oder Ansteuerstrom  $i_{des}$  wird von der Steuereinheit 1 in Abhängigkeit eines Soll-Volumenstroms  $Q_{desIn}$  ermittelt. Der Soll-Volumenstrom  $Q_{desIn}$  ist dabei derjenige Volumenstrom, den die Hydromaschine 2 dem wenigstens einen von ihr mit Druckmittel versorgten, hydraulischen Verbraucher des Antriebes bereitstellen stellen muss, damit eine an den Verbraucher gerichtete Bewegungsanforderung erfüllt werden kann.

**[0053]** Gemäß **Fig. 1** weist die Steuereinheit 1 drei Abschnitte auf. Ein erster Abschnitt ist eine Berechnungseinheit 4, ein zweiter Abschnitt ist ein (optionaler) Verdrängungsvolumenregler 6 und ein dritter Abschnitt ist ein Pumpenregler 8. Die Berechnungseinheit 4 berechnet ein Soll-Verdrängungsvolumen aus dem erfassten, ermittelten oder anderweitig vorgegebenen Soll-Volumenstrom  $Q_{desIn}$ . In Kenntnis der Kinematik der Schrägscheibe der Hydromaschine 2 berechnet sie daraus das mechanische Äquivalent zum Soll-Verdrängungsvolumen, den oben erwähnten Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{des}$ . Der Berechnungseinheit 4 werden eine Ist-Drehzahl  $n_{pmp}$  und ein Ist-Druck  $p_{pmp}$  der Hydromaschine 2 von entsprechenden Sensoren 10 übermittelt. Die Berechnungseinheit 4 übergibt den berechneten Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{des}$  an den optionalen Verdrängungsvolumenregler 6.

**[0054]** Der Verdrängungsvolumenregler 6 korrigiert den Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{des}$  zum korrigierten

Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{descorr}$ . Hierzu geht in den Verdrängungsvolumenregler 6 eine Messgröße ein, die durch den Sensor 10 erfasst wird. Diese Messgröße ist im Ausführungsbeispiel der aktuelle Schwenkwinkel  $\alpha_{pmp}$  der Hydromaschine 2. Für die Korrektur des Soll-Schwenkwinkels  $\alpha_{des}$  regelt der Verdrängungsvolumenregler 6 somit die Abweichung zwischen dem errechneten Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{des}$  und dem erfassten, aktuellen Schwenkwinkel  $\alpha_{pmp}$  aus. Dabei ist der Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{des}$  eine Führungsgröße der Verdrängungsvolumenregelung, der erfasste Schwenkwinkel  $\alpha_{pmp}$  ist die Rückführgröße dieser Regelung. Der Verdrängungsvolumenregler 6 übergibt den korrigierten Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{descorr}$  in Folge als eine Eingangsgröße an den Pumpenregler 8.

**[0055]** Ohne den vorbeschriebenen Verdrängungsvolumenregler 6, wie erwähnt ist dieser optional, wird das Verdrängungsvolumen/der Schwenkwinkel  $\alpha$  lediglich gesteuert. Hintergrund für die Verwendung des Verdrängungsvolumenreglers 6 ist, dass bei einigen Anwendungen eine alleinige Steuerung des Schwenkwinkels nicht ausreichend genau ist. Der in den Verdrängungsvolumenregler 6 eingehende Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{des}$  kann entweder aus Ansteuersignalen ermittelt werden oder er wird in der Berechnungseinheit 4 berechnet. Dabei kann das Signal des eingehenden Soll-Schwenkwinkels  $\alpha_{des}$ , wenn nötig, zunächst gefiltert werden. Abweichungen zum erfassten Schwenkwinkel  $\alpha_{pmp}$  werden über den vorzugsweise als PID-Regler ausgestalteten Verdrängungsvolumenregler 6 ausgeregelt.

**[0056]** Eine beinhaltete Anti-Windup Funktion verhindert ein Aufziehen des Verdrängungsvolumenreglers 6 und somit eine Beeinträchtigung der Pumpenansteuerung durch den Verdrängungsvolumenregler 6 und kann verschiedene Szenarien zur automatischen Aktivierung enthalten. Beispielfhaft ist eine Aktivierung im Falle einer Druckabschneidung möglich. Hierbei kann der Beginn der Druckabschneidung, wenn also ein Zurückschwenken der Hydromaschine 2 angesteuert wird, weil beispielsweise eine Parametergrenze der Hydromaschine 2 erreicht wurde, und das Verlassen der Druckabschneidung (erneutes Ausschwenken der Hydromaschine 2 bis zum Soll-Schwenkwinkel) jeweils erkannt und für beide Fälle eine jeweilige zulässige Abweichung zum Soll-Schwenkwinkel parametrisiert werden. Über die zulässigen Abweichungen und die Erkennung des Zurück- und Ausschwenkens der Hydromaschine 2 kann die (De)aktivierung des Anti-Windup separat eingestellt werden.

**[0057]** Die Anti-Windup Funktion kann auch durch eine hohe Abweichung zwischen dem Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{des}$  und dem erfassten Schwenkwinkel

$\alpha_{pmp}$  aktiviert werden. Die Höhe der Abweichung ist dabei mittels einem Parameter einstellbar.

**[0058]** Der so korrigierte Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{descorr}$  ist eine Eingangsgröße des Pumpenreglers 8. Dieser hat die Aufgabe, den korrigierten Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{descorr}$  (oder im Falle ohne Verdrängungsvolumenregler 6 den Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{des}$ ) in einen Soll-Strom  $i_{des}$  zur Ansteuerung der Hydromaschine 2 zu überführen. Der Pumpenregler 8 rechnet dazu den korrigierten Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{descorr}$  in eine korrespondierende Betriebsgröße um, die einfach erfassbar ist. Hierzu bietet sich der Druck  $p$  der Hydromaschine 2 an, der sich ausreichend proportional zur Änderung des Schwenkwinkels ändert. Über die Sensoreinheit 10 wird der aktuelle Druck  $p$  als Messgröße  $p_{pmp}$  erfasst und auf den Pumpenregler 8 zur Regelung des Drucks  $p$  zurückgeführt, sofern das Verdrängungsvolumen/der Schwenkwinkel  $\alpha$  gesteuert wird.

**[0059]** Wenn der Schwenkwinkel  $\alpha$  geregelt wird, wird die Betriebsgröße - der Druck  $p$  - hingegen nicht fortwährend geregelt, sondern lediglich bei Bedarf limitiert oder „abgeschnitten“.

**[0060]** Der Pumpenregler 8 überführt den intern aus dem korrigierten Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{descorr}$  berechneten Soll-Druck in den Soll-Strom  $i_{des}$ , mit dem das weiter oben beschriebene Druckreduzierventil der Hydromaschine 2 angesteuert wird. Die daraus resultierende Beaufschlagung des Verstellzylinders mit Druckmittel führt zur Verstellung der Schrägscheibe, in Folge des Schwenkwinkels  $\alpha$  und damit des Verdrängungsvolumens.

**[0061]** Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Berechnungseinheit 4. Die Berechnungseinheit 4 berechnet das Soll-Verdrängungsvolumen aus dem Soll-Volumenstrom  $Q_{desIn}$ . Dazu weist die Berechnungseinheit 4 eine Anzahl an Eingängen auf. Der Soll-Volumenstrom  $Q_{desIn}$  resultiert wie weiter oben erwähnt, aus der Volumenstrom-Anforderung des oder der mit Druckmittel zu versorgenden hydraulischen Verbraucher. Die Pumpendrehzahl  $n_{pmp}$  und der Druck  $p_{pmp}$  werden durch die Sensoren 10 erfasst. Aus dem Soll-Volumenstrom  $Q_{desIn}$  und der Pumpendrehzahl  $n_{pmp}$  wird ein theoretischer Soll-Volumenstrom  $Q_{desTheo}$  berechnet (Formel (1)). Unter Verwendung der Druckdifferenz  $\Delta p$  über die Hydromaschine 2 - dem sogenannten Systemdruck - wird eine hochdruckabhängige Volumenstromabweichung  $\Delta Q_{\Delta p}$  berechnet (Formel (2)). Eine drehzahlabhängige Volumenstromabweichung  $\Delta Q_n$  wird unter Verwendung der Pumpendrehzahl  $n_{pmp}$  berechnet (Formel (3)). Weitere Volumenstromabweichungen werden berechnet (4). Dabei kann die Berechnung der weiteren Volumenstromabweichungen durch

den Einsatz von Kennlinien oder Messungen oder auf Basis von Erfahrungswerten erfolgen. Ein Beispiel für eine der weiteren Volumenstromabweichungen kann eine schwenkwinkelabhängige Volumenstromänderung sein (Formel (4)).

**[0062]** Die Gesamtabweichung  $\Delta Q$  wird als Summe aus einem von der drehzahlabhängigen Volumenstromabweichung  $\Delta Q_n$  und der schwenkwinkelabhängigen Volumenstromabweichung  $\Delta Q_{\alpha}$  gebildeten Produkt und der hochdruckabhängigen Volumenstromabweichung  $\Delta Q_{\Delta p}$  berechnet. Aus der Summe des theoretischen Soll-Volumenstroms  $Q_{\text{desTheo}}$  und der Gesamtabweichungen  $\Delta Q$  wird der korrigierte Soll-Volumenstrom  $Q_{\text{desOut}}$  berechnet. Dieser  $Q_{\text{desOut}}$  wird von der Berechnungseinheit 4 in das Soll-Verdrängungsvolumen, beziehungsweise den Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{\text{des}}$  umgerechnet (Formel (7)). Dieser wird von der Berechnungseinheit 4 an den Verdrängungsvolumenregler 6 oder falls dieser nicht vorgesehen ist, an den Pumpenregler 8 ausgegeben und fungiert für beide als eine Eingangsgröße.

**[0063]** Die Umrechnung des Soll-Volumenstroms  $Q_{\text{desIn}}$  in das mechanische Äquivalent des Soll-Verdrängungsvolumens, den Soll-Schwenkwinkel  $\alpha_{\text{des}}$ , ist nachfolgend detailliert beschrieben.

**[0064]** Der vorgegebene Soll-Volumenstrom wird unter Berücksichtigung einer nicht vermeidbaren Volumenstromabweichung, die durch äußere Einflüsse oder variierende Betriebspunkte verursacht werden kann, in das Soll-Verdrängungsvolumen umgerechnet. Dazu werden die aktuelle Pumpendrehzahl und der Systemdruck durch Sensoren erfasst.

**[0065]** Zur Berechnung des Soll-Verdrängungsvolumens aus dem Soll-Volumenstrom muss zunächst ein theoretischer Volumenstrom aus der Soll-Volumenstromvorgabe  $Q_{\text{desIn}}$  ohne Berücksichtigung möglicher Abweichungen berechnet werden. Die Berechnung des theoretischen Volumenstroms  $Q_{\text{desTheo}}$  kann unter Verwendung der aktuellen Pumpendrehzahl  $n_{\text{pmp}}$  und eines maximalen Pumpenfördervolumens  $V_{\text{g\_pmpMax}}$  folgendermaßen umgesetzt werden:

$$Q_{\text{desTheo}} = Q_{\text{desIn}} * n_{\text{pmp}} * V_{\text{g\_pmpMax}} \quad (1)$$

**[0066]** Die Höhe der Volumenstromabweichungen hängt von verschiedenen Größen ab, die unter anderem folgende sind:

- Änderung des Systemdrucks
- Änderung der Pumpendrehzahl
- Änderung des Pumpenschwenkwinkels

- Änderung des Volumenstrombedarfs der Verbraucher, die der hydraulischen Pumpe nachgelagert sind
- Änderung der Temperatur
- Änderung des Luftdrucks

**[0067]** Um den gewünschten, von dem theoretischen Volumenstrom abweichenden Soll-Volumenstrom zu erhalten, müssen die vorstehend aufgeführten Einflüsse mit einberechnet/korrigiert werden. Je nach erforderlicher Steuergenauigkeit, Rechenaufwand und Verfügbarkeit von Daten können verschiedene mathematische oder datenbasierte Ansätze zur Kompensation gewählt werden. Für einige Einflussfaktoren können beispielsweise folgende Ansätze gewählt werden:

**[0068]** Eine hochdruckabhängige Volumenstromabweichung  $dQ_{\Delta p}$  wird unter Verwendung eines spezifischen Faktors zur Druckkompensation  $Fac_{\Delta p}$ , des aktuellen Systemdifferenzdruckes  $\Delta p$  und eines spezifischen Offsets zur Druckkompensation  $Off_{\Delta p}$  berechnet:

$$\Delta Q_{\Delta p} = Fac_{\Delta p} + Off_{\Delta p} \quad (2)$$

**[0069]** Dieser Einfluss liefert den Kern der Volumenstromkompensation, wobei nachfolgend noch weitere Kompensationsmöglichkeiten beschrieben sind.

**[0070]** Eine drehzahlabhängige Volumenstromabweichung  $\Delta Q_n$  wird unter Verwendung eines spezifischen Faktors zur Drehzahlkompensation  $Fac_n$ , der aktuellen Pumpendrehzahl  $n_{\text{pmp}}$  und eines spezifischen Offsets zur Drehzahlkompensation  $Off_n$  berechnet:

$$\Delta Q_n = Fac_n * n_{\text{pmp}} + Off_n \quad (3)$$

**[0071]** Eine schwenkwinkelabhängige Volumenstromabweichung  $\Delta Q_{\alpha}$  wird unter Verwendung des berechneten theoretischen Volumenstroms  $Q_{\text{desTheo}}$  (1) und eines spezifischen Faktors zur Schwenkwinkelkompensation  $Fac_{\alpha}$  berechnet:

$$\Delta Q_{\alpha} = \arctan(Q_{\text{desTheo}} * Fac_{\alpha}) / (\pi / 2) \quad (4)$$

**[0072]** Mittels dieser Funktion kann ein stetiger Übergang von einer Kompensation von 0 l/min bei einem Schwenkwinkel von 0° zu einer Kompensationskennlinie, welche nicht durch den Nullpunkt verläuft, ermöglicht werden. Über den Faktor zur Schwenkwinkelkompensation  $Fac_{\alpha}$  kann die Übergangszeit der Kompensation von 0 l/min bis hin zu der Kennlinie verkürzt bzw. verlängert werden.

**[0073]** Aus den einzelnen Volumenstromabweichungen (2), (3) und (4) kann wie folgt eine Gesamtabweichung  $\Delta Q$  berechnet werden:

$$\Delta Q = \Delta Q_{\Delta p} + \Delta Q_n * \Delta Q_{\alpha} \quad (5)$$

**[0074]** Aus der Gesamtabweichung (5) und dem theoretischen Volumenstrom (1) kann ein modifizierter Soll-Volumenstrom  $Q_{desOut}$  berechnet werden, dessen aus der hydraulischen Pumpe ausgehender Anteil dann dem geforderten Soll-Volumenstrom entspricht:

$$Q_{desOut} = Q_{desTheo} + \Delta Q \quad (6)$$

**[0075]** Der modifizierte Soll-Volumenstrom  $Q_{desOut}$  kann mittels der aktuellen Pumpendrehzahl  $n_{pmp}$  und eines maximalen Pumpenförderolumens  $Vg_{pmpMax}$  in einen modifizierten Pumpensollschwenkwinkel  $\alpha_{des}$  umgerechnet werden:

$$\alpha_{des} = Q_{desOut} / (n_{pmp} * Vg_{pmpMax}) \quad (7)$$

**[0076]** Die zuvor beschriebenen Faktoren und Offsets zur mathematischen Beschreibung der jeweiligen Abweichungen können durch verschiedene Methoden ermittelt werden, wie beispielsweise einer Vermessung an einem Versuchsträger, einer Vermessung am Prüfstand oder einer Abschätzung auf Basis von Erfahrungswerten.

**[0077]** Die Genauigkeit der Kompensation des von dem Soll-Volumenstrom abweichenden Volumenstroms kann noch weiter erhöht werden, indem für die druck-, drehzahl- oder schwenkwinkelabhängige Kompensation nichtlineare Modelle verwendet werden. Ferner lässt sich die Genauigkeit des Systemverhaltens im Bezug zur Sollwertvorgabe mittels Berücksichtigung der Leckage des Hydromotors bzw. mehrerer Hydromotoren noch weiter verbessern.

**[0078]** Das grundlegende Funktionsprinzip einer zweiten Ausführungsform ist identisch mit der ersten Ausführungsform. Der Unterschied ist allerdings, dass der optionale Verdrängungsvolumenregler 6 der ersten Ausführungsform gemäß **Fig. 1** fehlt (gestrichelt dargestellt). Das heißt, das berechnete Verdrängungsvolumen wird ohne Korrektur von der Berechnungseinheit 4 zu dem Pumpenregler 8 übertragen. Das von der Berechnungseinheit 4 berechnete Verdrängungsvolumen ist somit die Führungsgröße des Pumpenreglers 8.

**[0079]** Der hydraulische Antrieb kann beispielsweise in einem Winden- oder Fahrtrieb angewendet werden.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102015207258 A1 [0003]
- DE 102013213896 A1 [0003]
- DE 102013217708 A1 [0003]
- DE 102019210003 A1 [0004]

## Patentansprüche

1. Verfahren mit einem hydraulischen Antrieb, der wenigstens eine Hydromaschine (2) mit verstellbarem Verdrängungsvolumen hat, die zur Druckmittelversorgung wenigstens eines hydraulischen Verbrauchers, orientiert an dessen Last, elektronisch regelbar ist, mit den Schritten:

- Erfassen einer Ist-Drehzahl ( $n_{pmp}$ ) und eines Soll-Volumenstroms ( $Q_{desIn}$ ), jeweils der Hydromaschine (2);

- Berechnen eines Soll-Verdrängungsvolumens der Hydromaschine (2), oder eines mechanischen Soll-Äquivalents ( $\alpha_{des}$ ) dessen, in Abhängigkeit der Ist-Drehzahl ( $n_{pmp}$ ) und des Soll-Volumenstroms ( $Q_{desIn}$ ); und, in Abhängigkeit des Soll-Verdrängungsvolumens oder mechanischen Soll-Äquivalents ( $\alpha_{des}$ ), sowie wenigstens eines Parameters des hydraulischen Antriebes oder wenigstens einer Messgröße ( $\alpha_{pmp}$ ,  $p_{pmp}$ ) des hydraulischen Antriebes, wahlweise:

- Regeln des Verdrängungsvolumens oder Äquivalents ( $\alpha$ ) gemäß dem Soll-Verdrängungsvolumen oder mechanischen Soll-Äquivalent

- ( $\alpha_{des}$ ) und Limitieren einer Betriebsgröße der Hydromaschine (2) in Abhängigkeit des wenigstens einen Parameters, oder

- Steuern des Verdrängungsvolumens oder Äquivalents ( $\alpha$ ) gemäß dem Soll-Verdrängungsvolumen oder mechanischen Soll-Äquivalent

- ( $\alpha_{des}$ ) und Regeln einer Betriebsgröße ( $p$ ) der Hydromaschine (2) in Abhängigkeit der wenigstens einen Messgröße ( $p_{pmp}$ ).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Soll-Verdrängungsvolumen oder mechanische Soll-Äquivalent ( $\alpha_{des}$ ) in einen Sollwert ( $p_{des}$ ) der Betriebsgröße ( $p$ ) umgerechnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Betriebsgröße ein Druck ( $p$ ) der Hydromaschine (2) oder ein Differenzdruck ( $\Delta p$ ) über die Hydromaschine (2) ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Berechnen des Soll-Verdrängungsvolumens oder mechanischen Soll-Äquivalents

( $\alpha_{des}$ ), in Abhängigkeit des Soll-Volumenstroms ( $Q_{desIn}$ ) und der Ist-Drehzahl ( $n_{pmp}$ ) Schritte

- Berechnen eines theoretischen Volumenstroms ( $Q_{desTheo}$ ) in Abhängigkeit des Soll-Volumenstroms ( $Q_{desIn}$ ), der Ist-Drehzahl ( $n_{pmp}$ ) und einem maximalen Pumpenfördervolumen ( $Vg_{pmpMax}$ );

- Berechnen einer Gesamtabweichung ( $\Delta Q$ ) vom theoretischen Volumenstrom ( $Q_{desTheo}$ ) in Abhängigkeit wenigstens einer auf den Volumenstrom ( $Q$ ) wirkenden Einflussgröße ( $p$ ,  $\Delta p$ ,  $n_{pmp}$ ,  $\alpha$ ,  $Q_V$ ,  $T$ ,  $p_L$ );

- Berechnen eines modifizierten Soll-Volumenstroms ( $Q_{desOut}$ ) in Abhängigkeit des theoretischen Volumenstroms ( $Q_{desTheo}$ ) und der Gesamtabweichung ( $\Delta Q$ ); und

- Berechnen eines modifizierten Soll-Verdrängungsvolumens oder modifizierten Soll-Äquivalents ( $\alpha_{descorr}$ ) in Abhängigkeit des modifizierten Soll-Volumenstroms ( $Q_{desOut}$ ), der Ist-Drehzahl ( $n_{pmp}$ ) und des maximalen Pumpenfördervolumens ( $Vg_{pmpMax}$ ) umfasst.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei zu den Einflussgrößen wenigstens eine aus dem Druck ( $p$ ), einem Differenzdruck ( $\Delta p$ ), der Drehzahl ( $n_{pmp}$ ), des Verdrängungsvolumens oder Äquivalents ( $\alpha$ ), eines angeforderten Volumenstrombedarfs ( $Q_V$ ) des wenigstens einen Verbrauchers, einer Temperatur des Druckmittels ( $T$ ) oder einem Luftdruck ( $p_L$ ) zählen.

6. Verfahren zumindest nach Anspruch 4, wobei das Soll-Verdrängungsvolumen oder dessen mechanisches Soll-Äquivalent ( $\alpha_{des}$ ) oder das modifizierte Soll-Verdrängungsvolumen oder das modifizierte Soll-Äquivalent ( $\alpha_{descorr}$ ) in Abhängigkeit einer erfassten Messgröße ( $\alpha_{pmp}$ ) korrigiert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei über eine innere Regelschleife die Betriebsgröße ( $p$ ) regelbar ist und über eine äußere Regelschleife das Verdrängungsvolumen oder dessen Äquivalent ( $\alpha$ ) regelbar ist, wobei die beiden Regelschleifen eine Kaskadenregelung bilden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zwischen einem Betriebsmodus mit dem Regeln der Betriebsgröße ( $p$ ) und einem weiteren Betriebsmodus mit dem Regeln des Verdrängungsvolumens oder Äquivalents ( $\alpha$ ) umgeschaltet wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei über die Regelung des Verdrängungsvolumens oder Äquivalents ( $\alpha$ ) ein Hystereseeffekt der Hydromaschine (2) kompensiert wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Regelung des Verdrängungsvolumens oder Äquivalents ( $\alpha$ ) im Falle der Limitierung der Betriebsgröße ( $p$ ) übersteuert wird oder zumindest übersteuert werden kann.

11. Steuereinheit (1), die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen, zumindest mit einer Berechnungseinheit (4) zum Berechnen des Soll-Verdrängungsvolumens oder Soll-Äquivalents ( $\alpha_{des}$ ) in Abhängigkeit des Soll-Volumenstroms ( $Q_{desIn}$ ) und der Ist-Drehzahl ( $n_{pmp}$ ) und einem Pumpen-

regler (8) zum Ansteuern der Hydromaschine (2) in Abhängigkeit des berechneten Soll-Verdrängungsvolumens oder Soll-Äquivalents ( $\alpha_{des}$ ).

12. Steuereinheit (1) nach Anspruch 11, mit einem Verdrängungsvolumen-, Äquivalenten- oder Schwenkwinkel-Regler (6) zum Korrigieren des berechneten Soll-Verdrängungsvolumens, Soll-Äquivalents oder Soll-Schwenkwinkels ( $\alpha_{des}$ ) in Abhängigkeit des erfassten Verdrängungsvolumens, Äquivalents oder Schwenkwinkels ( $\alpha_{pmp}$ ).

13. Computerprogramm, um einen Prozessor mit Hardware zu den Schritten nach Anspruch 1 zu veranlassen.

14. Maschinenlesbares Speichermedium mit einem mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm nach Anspruch 13.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

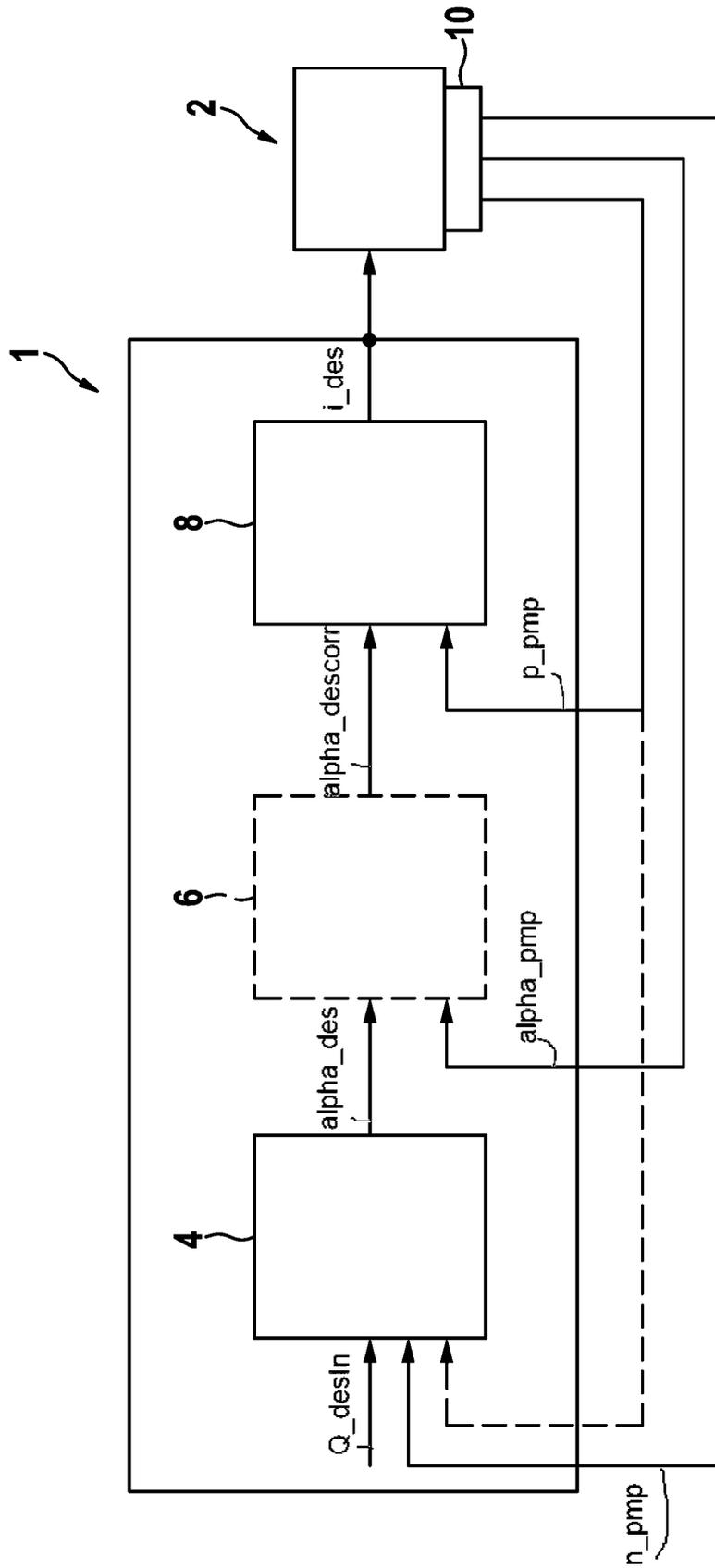


Fig. 1

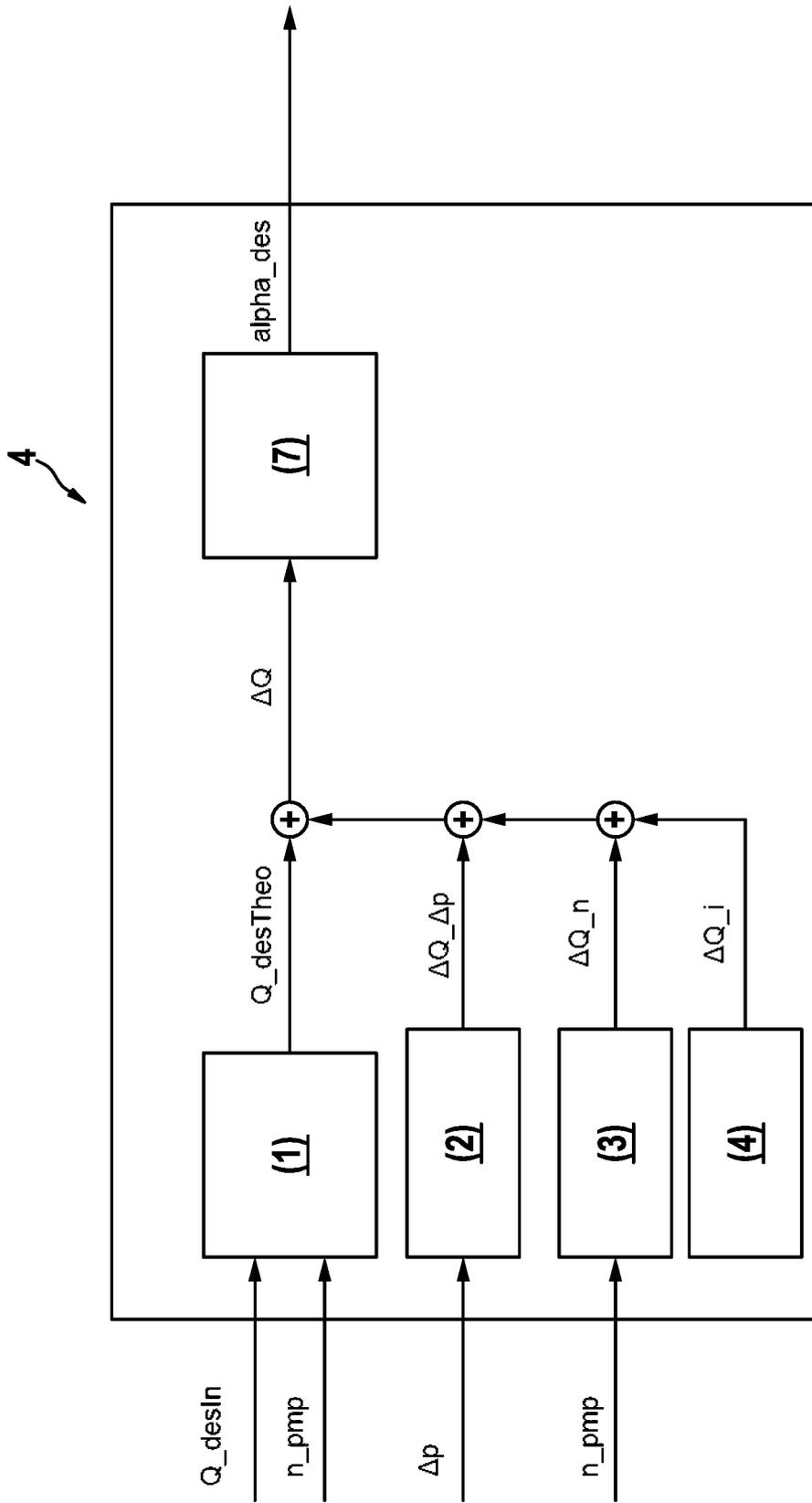


Fig. 2