



(10) **DE 10 2013 008 792 B4** 2016.12.22

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 008 792.9**  
(22) Anmeldetag: **23.05.2013**  
(43) Offenlegungstag: **27.11.2014**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **22.12.2016**

(51) Int Cl.: **F15B 11/02 (2006.01)**  
**F15B 21/08 (2006.01)**  
**F04B 49/06 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**THOMAS MAGNETE GMBH, 57562 Herdorf, DE**

(72) Erfinder:  
**Schonlau, Jürgen, 57567 Daaden, DE; Schulz, René, Dr., 57299 Burbach, DE; Krallmann, Jens, Dr., 57572 Niederfischbach, DE; Wojcik, Wiktor, 57581 Katzwinkel, DE; Schneider, Jörg, Dr. rer. nat., 51580 Reichshof, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	000002307550	C2
DE	34 33 495	C2
DE	31 48 174	A1
DE	44 16 723	A1
DE	10 2008 054 880	A1
DE	697 35 495	T2

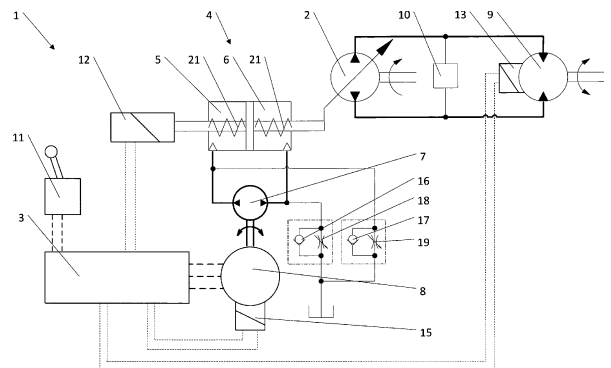
(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Verstellung einer hydraulischen Verstellpumpe**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Verstellung einer hydraulischen Verstellpumpe (2) mit einer elektrischen Ansteuerung (3) und einer hydraulischen Betätigungseinrichtung (4), die zwei Zylinderräume (5), (6) enthält, wobei die Betätigungseinrichtung (4) mechanisch von zentrierenden Federn (21), (22) und hydraulisch von einer Hilfspumpe (7) ohne Zwischenschaltung von Ventilen beaufschlagt wird und dass diese Hilfspumpe von einem drehzahlvariablen bürstenlosen permanentmagnetisch erregten Synchron- oder Schrittmotor (8) angetrieben wird, wobei in der elektrischen Ansteuerung (3)

- elektrische Eingangssignale von einem Sollwertgeber (20) verarbeitet werden

- aus den Eingangssignalen entsprechend einem Regelalgorithmus ein erforderliches Drehmoment des Synchron- oder Schrittmotors (8) berechnet wird

- das erforderliche Drehmoment des Synchron- oder Schrittmotors (8) durch geeignete Bestromung der Spulen des Synchron- oder Schrittmotors eingestellt wird, wobei entsprechend dem Drehmoment des Elektromotors (8) eine proportionale Druckdifferenz an der Hilfspumpe (7) und daraus folgend eine proportionale Auslenkung der Betätigungseinrichtung (4) gegen die wegabhängigen Kräfte der Federn (21), (22) bewirkt wird, wobei die Verstellpumpe (2) auf den Schwenkwinkel eingestellt wird, der der Vorgabe des Sollwertgebers (12) entspricht.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Verstellung einer hydraulischen Verstellpumpe mit einer elektrischen Ansteuerung und einer hydraulischen Betätigungseinrichtung.

### Stand der Technik

**[0002]** Verstellpumpen werden zusammen mit Hydraulikmotoren zum Aufbau von hydrostatischen Getrieben verwendet, die zu den stufenlos verstellbaren Getrieben zählen. Zur Verstellung einer Verstellpumpe werden üblicherweise mechanisch-hydraulische oder elektrohydraulische Verstelleinrichtungen eingesetzt, wie sie zum Beispiel in den Druckschriften DE 23 07 550 C2, DE 34 33 495 C2 und DE 44 16 723A1 beschrieben sind. Die Druckschriften DE 69 735 495 T2 und DE 31 48 174 A1 zeigen Verstelleinrichtungen mit drehzahlvariablen Elektromotoren. Die bekannten Verstelleinrichtungen sind bewährt und sie erfüllen die an sie gerichteten Anforderungen, aber ihre elektrische oder hydraulische Leistungsaufnahme ist recht hoch, was insbesondere im Teillastbetrieb des hydrostatischen Getriebes den Gesamtwirkungsgrad des Antriebssystems negativ beeinflusst. Daneben weisen die bekannten Verstelleinrichtungen noch eine Temperaturabhängigkeit ihrer Verstellgeschwindigkeit bei niedrigen Temperaturen auf.

**[0003]** Es besteht daher die Aufgabe, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verstellung einer hydraulischen Verstellpumpe anzugeben, bei dem die hydraulische Leistungsaufnahme erheblich vermindert ist und insbesondere im Teillastbetrieb des hydrostatischen Getriebes der Wirkungsgrad verbessert ist sowie die Temperaturabhängigkeit der Verstellung bei niedrigen Temperaturen vermindert ist.

**[0004]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Verstellung einer hydraulischen Verstellpumpe mit den Merkmalen nach Patentanspruch 1 sowie durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen nach Patentanspruch 3 gelöst. Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens ist im Unteranspruch 2 angegeben.

**[0005]** Die hohe hydraulische Leistungsaufnahme der bekannten elektrohydraulischen Verstellsysteme wird vor allem durch die Verwendung von hydraulischen Ventilen hervorgerufen, die nicht beliebig klein ausgeführt werden können und aus Gründen der kostengünstigen Herstellbarkeit gewisse interne Leckagen zulassen. Auch die Temperaturabhängigkeit der Verstellung ist eine Folge der Verwendung von regelnden Ventilen. Es ist bekannt, in hydraulischen Systemen größerer Leistung verstellbare Pumpen oder Pumpen mit variabler Drehzahl zu verwenden, und damit Ventile zur Regelung zu vermeiden, in der

Verstellung von verstellbaren Pumpen macht aber der Einsatz von Verstellpumpen keinen Sinn, denn diese müssten ihrerseits ein Verstellsystem haben. Der Einsatz von Pumpen mit variabler Drehzahl zur Ventilverstellung ist zwar z. B. aus der Druckschrift DE 10 2008 054 880 A1 bekannt, allerdings hier nicht in dieser Art anwendbar. Es ist ebenfalls bekannt, Verstellpumpen mechanisch über ein Getriebe mittels eines Elektromotors zu verstellen, dabei wird aber das Getriebe durch die starken Wechselkräfte an der Verstelleinrichtung der Pumpe stark belastet und es werden starke Geräusche über das Getriebe übertragen. Die bekannten mit regelnden Ventilen ausgerüsteten hydraulischen Verstellsysteme verwenden den relativ niedrigen Druck der Füllpumpe, die bei hydrostatischen Getrieben mit geschlossenem Kreislauf ohnehin erforderlich ist, zur Beaufschlagung von Verstellzylindern, die dem niedrigen Druck entsprechend große Kolbenflächen aufweisen. Dies bewirkt eine hohe mechanische Steifigkeit und eine gute Dämpfung des Verstellsystems.

**[0006]** Die erfindungsgemäße Verstelleinrichtung nutzt ebenfalls die Verstellzylinder mit den großen Kolbenflächen, um die hohe Steifigkeit und die gute Dämpfung zu übernehmen. Der variable Flüssigkeitsstrom zur Verstellung wird aber nicht über regelnde Ventile der Füllpumpe entnommen, sondern von einer Hilfspumpe erzeugt, die von einem Elektromotor mit variabler Drehzahl angetrieben wird. In dem die Verstellbewegung übertragenden Hydraulikkreis, der aus der Hilfspumpe und den Zylindern besteht, sind keine Ventile vorhanden, die Übertragung der Verstellbewegung erfolgt ausschließlich durch die Verdrängung von Flüssigkeit. Daher fallen auch nur vernachlässigbare hydraulischen Drosselverluste bei einer Verstellung und nur sehr geringe Leckverluste an. Auch die sehr geringe Temperaturabhängigkeit der erfindungsgemäßen Verstelleinrichtung beruht auf der ausschließlichen Nutzung der Flüssigkeitsverdrängung, es fehlen regelnde Ventile mit ihren kleinen Querschnitten in dem Hydraulikkreis, der die Verstellbewegung überträgt.

**[0007]** Der genannte Hydraulikkreis muss allerdings um Rückschlagventile zum Füllen des Kreises erweitert werden, diese liegen aber im Nebenzweig, und beeinflussen daher weder die Leistungsaufnahme noch das Temperaturverhalten der Verstelleinrichtung. Gleiches gilt für zusätzliche verstellbare Drosseln, die zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens die interne Leckage des Hydraulikkreises geringfügig erhöhen. Die Funktion der elektrischen Ansteuerung für die elektrohydraulische Regelung der Verstelleinrichtung wird anhand des Ausführungsbeispiels beschrieben.

**[0008]** Als Antrieb für die Hilfspumpe ist ein Elektromotor vorzusehen, der sich für Positionieraufgaben eignet und auch im Stillstand betrieben werden kann.

Erfindungsgemäß wird ein permanentmagneterregter bürstenloser Motor eingesetzt, in der Bauart des Synchronmotors oder des Schrittmotors.

#### Anwendung

**[0009]** Die erfindungsgemäße Verstelleinrichtung findet ihre Anwendung bei Verstellpumpen, die im geschlossenen hydraulischen Kreis arbeiten und nicht auf einen bestimmten Druck, sondern auf einen Volumenstrom eingestellt werden, der dann die Drehzahl oder die Geschwindigkeit eines nachgeschalteten Hydraulikmotors bestimmt. Solche Verstellpumpen werden entsprechend dem erforderlichen Drehzahl- oder Geschwindigkeitsverlauf des nachgeschalteten Hydraulikmotors verstellt.

**[0010]** Bilder: **Fig. 1** zeigt den Schaltplan der Verstelleinrichtung

#### Beispielhafte Ausführung:

**[0011]** Eine Verstelleinrichtung **1** für eine hydraulische Verstellpumpe **2** ist mit einer elektrischen Ansteuerung **3** und einer hydraulischen Betätigungseinrichtung **4** versehen, die zwei Zylinderräume **5** und **6** enthält. Die hydraulische Betätigungseinrichtung **4** wird von einer Hilfspumpe **7** ohne Zwischenschaltung von Ventilen in einem geschlossenen Kreis beaufschlagt und diese Hilfspumpe wird von einem drehzahlvariablen Elektromotor **8** angetrieben, der von der elektrischen Ansteuerung **3** mit einem geregelten elektrischen Strom oder einer Mehrzahl von geregelten elektrischen Strömen definierter Frequenz und Phasenlage versorgt wird. Vorteilhafterweise arbeitet die elektrische Ansteuerung **3** in einem geschlossenen Regelkreis, indem der elektrischen Ansteuerung ein Signal eines Sollwertgebers **11**, ein Zustandssignal eines Schwenkwinkelaufnehmers **12** der hydraulischen Verstellpumpe **2** und/oder ein weiteres Zustandssignal eines Drehzahl- oder Geschwindigkeitsaufnehmers **13** eines dieser Verstellpumpe nachgeschalteten Hydraulikmotors **9** zugeführt werden. Die elektrische Ansteuerung generiert aus den genannten Signalen mittels eines Regelalgorithmus die geregelten elektrischen Ströme für die Ansteuerung des Elektromotors **8**.

**[0012]** Die Verstellpumpe **2** und der nachgeschaltete Hydraulikmotor arbeiten vorzugsweise in einem geschlossenen Hydraulikkreis, dieser wird in bekannter Weise durch den Einspeise- und Druckbegrenzungsventilblock **10** mit Flüssigkeit gefüllt und abgesichert.

**[0013]** In einer ersten Ausführung ist der Elektromotor **8** ein bürstenloser permanentmagnetisch erregter Synchronmotor, dessen Spulensystem ein von der elektrischen Ansteuerung **3** bestimmtes Drehfeld erzeugt. Der Rotor des Elektromotors **8** ist vorzugsweise mit einer Winkelmesseinrichtung **15** gekoppelt, die

ein Winkelsignal an die elektrische Ansteuerung **3** zurückmeldet.

**[0014]** In einer zweiten Ausführung ist der Elektromotor **8** ein bürstenloser permanentmagnetisch erregter Schrittmotor, dessen Spulensystem ein von der elektrischen Ansteuerung **3** bestimmtes Drehfeld erzeugt. Der Schrittmotor benötigt keine Winkelmesseinrichtung, aber gegebenenfalls einen Sensor zur Feststellung der Nullstellung.

**[0015]** Die Hilfspumpe **7** und die hydraulische Betätigungseinrichtung **4** arbeiten in einem geschlossenen hydraulischen Kreis, in dem die Hilfspumpe jeweils einen Zylinderraum **5** oder **6** mit Druckflüssigkeit beaufschlagt und der damit mechanisch gekoppelte andere Zylinderraum **6** oder **5** das zum Ansaugen der Pumpe erforderliche Flüssigkeitsvolumen verdrängt, wobei eventuell auftretende Leckagen durch die Rückschlagventile **16** und **17** jeweils auf der Niederdruckseite ersetzt werden.

**[0016]** Parallel zu den Rückschlagventilen **16** und **17** sind Drosselventile **18** und **19** geschaltet, die zusätzlich zu den in der Hilfspumpe **7** und den Zylinderräumen **5** und **6** auftretenden Leckagen eine geringe einstellbare weitere Leckage erzeugen, die dazu beiträgt, einen geschlossenen Regelkreis zu stabilisieren.

**[0017]** Die Einstellung des Schwenkwinkels erfolgt durch eine Kraftregelung. Die elektrische Ansteuerung **3** ist so aufgebaut und programmiert, dass

- elektrische Eingangssignale von einem Sollwertgeber **11** verarbeitet werden
- zur Verbesserung der Regelgenauigkeit erforderlichenfalls zusätzlich elektrische Rückmeldungssignale von einem Drehzahlaufnehmer **13** oder einem Geschwindigkeitsaufnehmer an einem der Verstellpumpe nachgeschalteten Hydraulikmotor **9** verarbeitet werden
- aus den Eingangssignalen entsprechend einem Regelalgorithmus ein erforderliches Drehmoment des Elektromotors **8** berechnet wird
- und das erforderliche Drehmoment des Elektromotors **8** durch geeignete Bestromung der Spulen des Elektromotors eingestellt wird
- entsprechend dem eingestellten Drehmoment des Elektromotors **8** eine proportionale Druckdifferenz an der Hilfspumpe **7** und daraus folgend eine proportionale Auslenkung der Betätigungseinrichtung **4** gegen die wegabhängigen Kräfte der Federn **21** und **22** bewirkt wird, wobei die Verstellpumpe auf den Schwenkwinkel eingestellt wird, der der Vorgabe des Sollwertgebers entspricht.

## Bezugszeichenliste

1	Verstelleinrichtung
2	Verstellpumpe
3	Elektrische Ansteuerung
4	Hydraulische Betätigungseinrichtung
5	Zylinderraum
6	Zylinderraum
7	Hilfspumpe
8	Elektromotor
9	Hydraulikmotor
10	Einspeise- und Druckbegrenzungsventilblock
11	Sollwertgeber
12	Schwenkwinkelaufnehmer
13	Drehzahlaufnehmer
15	Winkelmesseinrichtung
16	Rückschlagventil
17	Rückschlagventil
18	Drosselventil
19	Drosselventil
21	Feder
22	Feder

pe (2) nachgeschalteten Hydraulikmotor (9) von der elektrischen Ansteuerung (3) verarbeitet werden.

3. Vorrichtung zur Verstellung einer hydraulischen Verstellpumpe (2) mit einer elektrischen Ansteuerung (3) und einer hydraulischen Betätigungseinrichtung (4) zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 oder 2.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Verstellung einer hydraulischen Verstellpumpe (2) mit einer elektrischen Ansteuerung (3) und einer hydraulischen Betätigungseinrichtung (4), die zwei Zylinderräume (5), (6) enthält, wobei die Betätigungseinrichtung (4) mechanisch von zentrierenden Federn (21), (22) und hydraulisch von einer Hilfspumpe (7) ohne Zwischenschaltung von Ventilen beaufschlagt wird und dass diese Hilfspumpe von einem drehzahlvariablen bürstenlosen permanentmagnetisch erregten Synchron- oder Schrittmotor (8) angetrieben wird, wobei in der elektrischen Ansteuerung (3)

- elektrische Eingangssignale von einem Sollwertgeber (20) verarbeitet werden
- aus den Eingangssignalen entsprechend einem Regelalgorithmus ein erforderliches Drehmoment des Synchron- oder Schrittmotors (8) berechnet wird
- das erforderliche Drehmoment des Synchron- oder Schrittmotors (8) durch geeignete Bestromung der Spulen des Synchron- oder Schrittmotors eingestellt wird,

wobei entsprechend dem Drehmoment des Elektromotors (8) eine proportionale Druckdifferenz an der Hilfspumpe (7) und daraus folgend eine proportionale Auslenkung der Betätigungseinrichtung (4) gegen die wegabhängigen Kräfte der Federn (21, 22) bewirkt wird, wobei die Verstellpumpe (2) auf den Schwenkwinkel eingestellt wird, der der Vorgabe des Sollwertgebers (12) entspricht.

2. Verfahren nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Verbesserung der Regelgenauigkeit zusätzlich elektrische Rückmeldungssignale von einem Drehzahlaufnehmer (13) oder einem Geschwindigkeitsaufnehmer an einem der Verstellpum-

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

