



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
04.10.2023 Patentblatt 2023/40

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F04B 1/12 (2020.01) **F04B 1/26** (2006.01)
F04B 1/34 (2006.01) **F04B 49/00** (2006.01)
F04B 49/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23164373.5**

(22) Anmeldetag: **27.03.2023**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F04B 1/12; F04B 1/26; F04B 1/34; F04B 49/002;
F04B 49/06; F04B 49/065

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Robert Bosch GmbH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
• **Engber, Arnold**
63768 Hoesbach (DE)
• **Bonefeld, Ralf**
63739 Aschaffenburg (DE)

(30) Priorität: **29.03.2022 DE 102022203051**

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER DREHZAHLVARIABLEN PUMPE**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer drehzahlvariablen Verstellpumpe (120), bei der ein in einem Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel verstellbares Förderwerk (122) mittels eines drehzahlvariablen Antriebs (121) angetrieben wird, umfassend ein Bestimmen eines Lastmoments an der drehzahlvariablen Verstellpumpe (120), in Abhängigkeit von einem Be-

triebszustand, ein Vorgeben eines Sollwerts ($V_{Pu,Soll}$) für eine das Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße so, dass ein Antriebsmoment des drehzahlvariablen Antriebs (121) höchstens einem Spitzen-Antriebsmoment ($M_{an,max}$) des Antriebs (121) oder einem Dauer-Antriebsmoment ($M_{an,0}$) des Antriebs (121) entspricht.

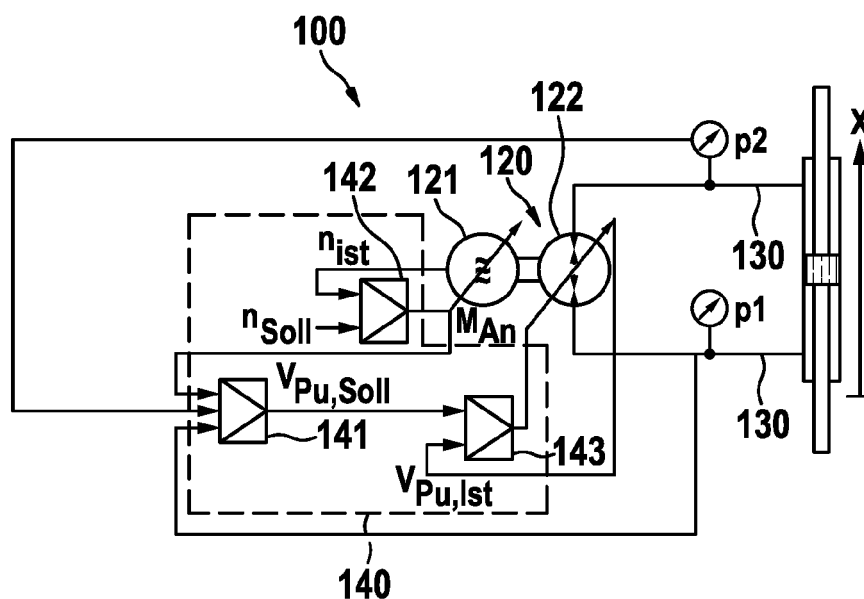


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer drehzahlvariablen Verstellpumpe, bei der ein in einem Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel verstellbares Förderwerk mittels eines drehzahlvariablen Antriebs angetrieben wird, sowie ein elektrohydraulisches System.

Stand der Technik

[0002] Der Erfindung zugrundeliegende Pumpen weisen ein Förderwerk mit variablem Verdrängungsvolumen pro Arbeitsspiel (sog. hydraulische Verdrängermaschine, z.B. Axialkolbenmaschine) auf, welches mittels eines Antriebs 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 Verdrängungsvolumens des Förderwerks und der Drehzahl geregelt, d.h. solche Pumpen besitzen zwei Freiheitsgrade bei der Regelung.

[0003] Aus der EP 2 192 309 B1 ist beispielsweise ein Verfahren bekannt, bei dem eine solche Pumpe betrieben wird, indem ein Druck bzw. eine Druckmittelmenge durch Ansteuern der Volumeneinstellung der Pumpe geregelt wird. Dabei wird eine Drehzahlabweichung des Antriebs berücksichtigt.

Offenbarung der Erfindung

[0004] Erfindungsgemäß werden ein Verfahren und ein elektrohydraulisches System mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0005] Die Erfindung beschäftigt sich mit dem Betreiben einer drehzahlvariablen Verstellpumpe wie insbesondere einer Axialkolbenpumpe mit z.B. Proportionalverstellung, bei der ein in einem Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel verstellbares Förderwerk mittels eines drehzahlvariablen Antriebs wie z.B. eines Elektromotors angetrieben wird. Zur Verstellung des Förderwerks kann bei einer solchen Verstellpumpe z.B. eine sog. Schwenkscheibe vorgesehen sein. Auf Basis des Lastmoments (insbesondere Lastdruck bzw. Differenzdruck) an der Pumpe sowie Lastkennwerten des Antriebsmotors (z.B. Spitzen- und Dauerantriebsmoment, max. Überlastzeit (=Dauer des max. Moments)) wird zur Begrenzung des Antriebsmoments ein zielführender Sollwert für das Verdrängungsvolumen generiert. So schafft die Erfindung eine Entkopplung des Antriebsmoments des Antriebs vom Lastdruck des angetriebenen Förderwerks durch Einstellung des Verdrängungsvolumens mit dem Ziel einer optimalen Motorauslastung.

[0006] Der Strom bzw. das Antriebsmoment elektrischer Antriebe ist zumeist thermisch begrenzt und abhängig von der Belastungsdauer. Hydrostatische Motor-Pumpen-Einheiten müssen aber oftmals hohe Lastdrücke über relativ lange Zeit zur Verfügung stellen. Eine geeignete Verstellung des Verdrängungsvolumens entkoppelt hier Druck und Antriebsmoment. Die Erfindung verhindert eine Überlastung des Antriebs. Im Rahmen der Erfindung wird das Verdrängungsvolumen so vorgegeben, dass es stets durch den elektrischen Antrieb aufgebracht werden kann. Die Erfindung ist insbesondere anwendbar bei Pumpen, die mit einer Verstelleinrichtung zur gezielten Beeinflussung ihres Verdrängungsvolumens aufgrund steuerungstechnischer Vorgaben ausgestattet sind. Insbesondere können zwei Betriebszustände, statisch und dynamisch, mit unterschiedlichen Vorgaben des Verdrängungsvolumens unterschieden werden.

[0007] Zweckmäßigerweise wird die Abhängigkeit von dem Betriebszustand durch eine Abhängigkeit von einer zeitlichen Veränderung des Lastmoments an der drehzahlvariablen Verstellpumpe berücksichtigt. Hierbei handelt es sich um eine einfach umzusetzende Möglichkeit, den Betriebszustand zu charakterisieren.

[0008] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform werden aus dem Lastmoment und dem Spitzen-Antriebsmoment des Antriebs nach Maßgabe einer ersten Filterfunktion mit zeitlicher Verzögerung, insbesondere einer PDT1-Funktion, eine erste Stellgröße, und aus dem Lastmoment und dem Dauer-Antriebsmoment des Antriebs nach Maßgabe einer zweiten Filterfunktion mit zeitlicher Verzögerung, insbesondere einer PDT1-Funktion, eine zweite Stellgröße bestimmt, wobei der Sollwert für die das Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße anhand der kleineren der ersten und zweiten Stellgröße vorgegeben wird. Damit lässt sich eine Betriebszustands- bzw. Lastgradientenabhängigkeit mit einem vorgebbaren zeitlichen Verlauf implementieren, insbesondere so, dass quasi automatisch ein rechtzeitiger Wechsel von dem Spitzen-Antriebsmoment auf das Dauer-Antriebsmoment stattfindet, bevor der Motor beschädigt wird. Dazu hat vorzugsweise die erste Filterfunktion eine geringere zeitliche Verzögerung als die zweite Filterfunktion, vorzugsweise null.

[0009] Vorzugsweise wird in einem dynamischen Betriebszustand der Sollwert für die das Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße so vorgegeben, dass das Antriebsmoment des drehzahlvariablen Antriebs größer ist als das Dauerantriebsmoment und höchstens dem Spitzen-Antriebsmoment des Antriebs entspricht. Auf diese Weise erfolgt die Steuerung bzw. Regelung des Verdrängungsvolumens so, dass dynamische Betriebszustände unter Ausnutzung der Eckleistung bzw. Spitzenleistung des elektrischen Antriebs realisiert werden.

[0010] Insbesondere wird in dem dynamischen Betriebszustand der Sollwert für die das Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße so vorgegeben, dass das Antriebsmoment des drehzahlvariablen Antriebs höchstens für eine zulässige Überlastzeit höchstens dem Spitzen-Antriebsmoment des Antriebs entspricht. Damit kann die Spitzenleistung so lange wie möglich abgerufen werden. Es kann zusätzlich vorgesehen sein, die Überlastzeit unter Verwendung einer ermittelten (insbesondere gemessen (z.B. mittels eines Temperaturfühlers) bzw. geschätzten) thermischen Antriebsauslastung anzupassen. Somit kann eine thermische Schädigung des Antriebs vermieden werden.

[0011] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird in einem statischen Betriebszustand der Sollwert für die das Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße so vorgegeben, dass das Antriebsmoment des drehzahlvariablen Antriebs höchstens dem Dauer-Antriebsmoment des Antriebs entspricht. Damit kann ein Langzeit- bzw. Dauerbetrieb sichergestellt werden; stationäre Betriebszustände werden unter Ausnutzung der Nennleistung des elektrischen Antriebs realisiert.

[0012] Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. eine Steuer- und/oder Regeleinheit für eine drehzahlvariable Verstellpumpe mit drehzahlvariablem Antrieb, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

[0013] Gegenstand der Erfindung ist weiterhin ein elektrohydraulisches Antriebssystem wie z.B. eine elektrohydraulische Achse umfassend eine drehzahlvariable Verstellpumpe mit einem drehzahlvariablen Antrieb sowie eine erfindungsgemäße Recheneinheit.

[0014] 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.

[0015] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0016] 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.

[0017] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

Figurenbeschreibung

[0018]

Figur 1 zeigt einen Schaltplan eines hydraulischen Systems, einen Antriebsmotor und eine Steuerung mit einer Einrichtung zur Einstellung der Drehzahl und ein Förderwerk mit einer Einrichtung zur Einstellung des Fördervolumens umfasst.

Figur 2 zeigt einen Signalfussplan eines Steuerschemas gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

Figur 3 zeigt beispielhafte Verläufe von Betriebsgrößen Druck, Antriebsmoment und Fördervolumen bei Anwendung eines Steuerschemas gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung.

Detaillierte Beschreibung der Zeichnung

[0019] In Figur 1 ist ein elektrohydraulisches System 100, wie es der Erfindung zugrunde liegen kann, schematisch dargestellt. Das elektrohydraulische System 100 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 mit z.B. Öl als Medium bzw. Betriebsmedium angeordnet.

[0020] Die drehzahlvariable Verstellpumpe 120 weist einen als Elektromotor 121 ausgebildeten drehzahlvariablen Antrieb und ein Förderwerk 122 auf und ist beispielsweise als Axialkolbenpumpe in Schwenkscheibenbauweise ausgebildet. Durch Verstellung des Winkels der Schwenkscheibe, also des sog. Schwenkwinkels, kann das Verdrängungsvolumen des Förderwerks je Arbeitsspiel verändert werden.

[0021] Eine Steuer- und/oder Regeleinheit 140 ist programmtechnisch zur Durchführung einer bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet. Im gezeigten Beispiel weist sie mehrere Module 141, 142, 143 auf, hier ein Steuermodul 141, ein Drehzahlregelmodul 142 und ein Verdrängungsvolumenregelmodul 143. Es sei

jedoch klagestellt, dass die einzelnen Module nicht in einer Einheit verbaut und auch nicht programmtechnisch realisiert sein müssen. Insbesondere ein Verdrängungsvolumenregelmodul 143 ist häufig beispielsweise als analoger Schwenkwinkelregler ausgeführt.

[0022] Dem Drehzahlregelmodul 142 werden ein Drehzahlsollwert n_{soll} und ein Drehzahlwert n_{ist} zugeführt, woraus nach üblichen Regel- oder Steuerverfahren z.B. unter Verwendung von P- und/oder I- und/oder D-Übertragungsfunktionen ein Sollwert M_{An} für ein Antriebsdrehmoment bestimmt wird. Der Drehzahlsollwert kann z.B. als gesteuerte Vorgabe von einem Benutzer oder Stellwert eines überlagerten Druck-/Kraft-/Lage-/Geschwindigkeitsreglers für den Hydraulikkreis oder die Abtriebsmaschine (z.B. Zylinder oder Hydraulikmotor) stammen.

[0023] Dem Verdrängungsvolumenregelmodul 143 werden ein Verdrängungsvolumensollwert $V_{\text{PU,soll}}$ und ein Verdrängungsvolumenwert $V_{\text{PU,ist}}$ zugeführt, woraus nach üblichen Verfahren eine Stellgröße für das Förderwerk bestimmt wird.

[0024] Zum Erfassen des Drucks p_1 , p_2 vor und hinter dem Förderwerk sind vorliegend zwei Drucksensoren vorgesehen.

[0025] Dem Steuermodul 141 werden die Druckwerte p_1 , p_2 und der (Soll- oder Ist-)Wert M_{An} (bei elektrischen Maschinen ist die Zeitkonstante im Vergleich zur Hydraulik deutlich kürzer, so dass bei dieser Betrachtung Soll- und Istwert immer als gleich angesehen werden können für das Antriebsdrehmoment zugeführt, woraus der Sollwert für das Verdrängungsvolumen bestimmt wird. Das Antriebsmoment kann hier vorzugsweise herangezogen werden, um einen (zusätzlich zur äußeren Last vorhandenen, nicht vernachlässigbaren) Anteil der Reibung am Gesamtmoment zu berücksichtigen. Wie unten dargestellt, wird er insbesondere in Form eines zusätzlichen Lastdrucks berücksichtigt.

[0026] Hydrostatische Pumpen stellen einen Volumenstrom zur Verfügung, der im Wesentlichen dem Produkt von Drehzahl und der durch das Verdrängungsvolumen gekennzeichneten Pumpenbaugröße proportional ist. Dabei erfolgt der Durchfluss abhängig von der Drehrichtung von einem Arbeitsanschluss zum anderen. Herrschen an den Arbeitsanschlüssen verschiedene Drücke p_1 , p_2 , so muss eine Antriebsmaschine ein entsprechendes Moment zur Verfügung stellen. Das notwendige Moment ist proportional zum Produkt aus der Druckdifferenz und der durch das Verdrängungsvolumen gekennzeichneten Pumpenbaugröße.

[0027] Durch eine Verstelleinrichtung für das Verdrängungsvolumen der Pumpe und eine geeignete Betriebsstrategie kann der Einsatzbereich der Motor-Pumpen-Einheit gegenüber einem System mit Konstantpumpe wesentlich erweitert werden, indem bei niedrigen Lastdrücken ein hoher Volumenstrom zur Verfügung gestellt werden kann, während bei hohen Lastdrücken der Antriebsmotor nicht überlastet wird. Die vorliegende Erfindung berücksichtigt sowohl die Begrenzung des Dauerdrehmoments M_0 als auch des Spitzendrehmoments M_{max} und erlaubt dabei die zeitlich begrenzte Ausnutzung der Maximalleistung des Antriebsmotors / des Umrichters.

[0028] Eine Druckdifferenz am Pumpentriebwerk erfordert/erzeugt ein proportionales Moment $M_{\text{L,p}}$ an der Pumpenwelle gemäß:

$$M_{\text{L,p}} = \frac{V_{\text{PU,ist}}}{2 \cdot \pi} \cdot (p_1 - p_2) \quad (1)$$

[0029] Eine Drehzahl erzeugt näherungsweise (abzüglich Leckagevolumenströmen) einen Volumenstrom gemäß:

$$Q_{\text{Pu}} = V_{\text{PU,ist}} \cdot n \quad (2)$$

[0030] Insgesamt lautet die Momentenbilanz am Triebwerk der Motor-Pumpeneinheit:

$$J_{\text{MoPu}} \cdot \ddot{\varphi} = M_{\text{an}} - M_{\text{L,p}} - M_{\text{R,ges}} \quad (3)$$

wobei J_{MoPu} das Trägheitsmoment der Einheit ist, $\ddot{\varphi}$ die Drehwinkelbeschleunigung und $M_{\text{R,ges}}$ das Gesamt-Reibmoment am Triebwerk.

[0031] Bei einer Begrenzung des Motormoments M_{an} auf einen Grenzwert $M_{\text{an,max}}$ muss daher als Minimalforderung gelten:

$$M_{\text{L,p}} \leq M_{\text{an,max}} \quad (4)$$

um die Kontrolle über die Antriebsdrehzahl zu behalten und ein ungewolltes Absinken derselben zu verhindern.

[0032] Diese Bedingung kann durch eine geeignete Verstellung des Verdrängungsvolumens wie folgt erfüllt werden:

$$\frac{V_{Pu,Soll,Spitze}}{V_{Pu,max}} \leq \frac{2 \cdot \pi}{V_{Pu,max}} \cdot \frac{M_{an,max}}{|p_1 - p_2| + |\hat{p}_{R,ges,schätz}|} \quad (5a)$$

[0033] Hierin ist bereits berücksichtigt, dass Einrichtungen zur Verstellung des Verdrängungsvolumens einer Pumpe (wie z.B. eine Schwenkwinkelverstellung) oftmals ein Sollsignal erwarten, das auf das maximale Verdrängungsvolumen $V_{Pu,max}$ bezogen ist, und das tatsächliche Verdrängungsvolumen ebenso als relationale Größe angegeben ist. Die reale (gesamte) Reibung am Triebwerk kann als geschätzte zusätzliche Druckdifferenz $\hat{p}_{R,ges,schätz}$ berücksichtigt werden, die aus dem Antriebsmoment und dem Fördervolumen abgeleitet wird.

[0034] Für Gleichung 5a kann eine alternative Form angegeben werden, wenn für das relative Verdrängungsvolumen die relative Größe α eingeführt wird. Damit ergibt sich die Forderung:

$$\alpha_{Soll,Spitze} \leq \frac{2 \cdot \pi}{V_{Pu,max}} \cdot \frac{M_{an,max}}{|p_1 - p_2| + |\hat{p}_{R,ges,schätz}|} \quad (5b)$$

welche in Abhängigkeit vom jeweils anstehenden Lastdruck die Pumpenverstellung so ausführt, dass das Spitzenmoment des Motors nicht durch das Abtriebsmoment überschritten wird.

[0035] In analoger Art und Weise kann ein Sollwert für das (relative) Verdrängungsvolumen abgeleitet werden, der die Einhaltung des (niedrigeren) Dauerdrehmoments $M_{an,0}$ des Antriebsmotors gewährleistet:

$$\alpha_{Soll,Dauer} \leq \frac{2 \cdot \pi}{V_{Pu,max}} \cdot \frac{M_{an,0}}{|p_1 - p_2| + |\hat{p}_{R,ges,schätz}|} \quad (6)$$

[0036] Da $M_{an,0} \leq M_{an,max}$ ist, würde bei einer direkten Anwendung der Regeln für die Momentenbegrenzung wie in Gl. 5b und 6 formuliert das Verdrängungsvolumen stets soweit reduziert werden, dass das Dauerdrehmoment nicht überschritten wird. Eine Nutzung der Eckleistung des Antriebsmotors würde damit verhindert.

[0037] Zur (kurzzeitigen) Ausnutzung der Maximalleistung des Antriebs werden daher die aus Gl. 5b und 6 resultierenden Sollwerte für den Schwenkwinkel vorteilhaft gefiltert, um sie zeitlich so zu beeinflussen, dass die Motorauslastung geeignet optimiert wird.

[0038] Daraus ergibt sich vorteilhaft die Vorschrift für die Vorgabe eines Pumpen-Verdrängungsvolumens zur Momentenbegrenzung in allgemeiner Form:

$$\alpha_{Soll,Dauer} \leq \frac{2 \cdot \pi}{V_{Pu,max}} \cdot \text{MIN} \left[f \left(\frac{K_{redM0} \cdot M_{an,0}}{|p_1 - p_2| + |\hat{p}_{R,ges,schätz}|}, \omega \right), g \left(\frac{K_{redMmax} \cdot M_{an,max}}{|p_1 - p_2| + |\hat{p}_{R,ges,schätz}|}, \omega \right) \right] \quad (7)$$

[0039] Darin berücksichtigen die mit K_{redM^*} bezeichneten Korrekturwerte, dass an einem realen Antriebssystem die Momentengrenzwerte von den Nominalwerten abweichen können.

[0040] Technisch vorteilhaft kann ein Filter bzw. eine Filterfunktion $g(M_{an,max}, \Delta p, \omega)$ so ausgestaltet werden, dass eine dynamische Verzögerung der Verstelleinrichtung kompensiert wird, um die Begrenzung auf das Maximalmoment verzögerungsfrei umzusetzen und damit die Funktionalität auch bei dynamischen Laständerungen zu garantieren. Als Filterfunktion kann vorteilhaft eine PDT1-Übertragungsfunktion verwendet werden.

[0041] Weiterhin kann ein Filter bzw. eine Filterfunktion $f(M_{an,0}, \Delta p, \omega)$ technisch vorteilhaft so ausgestaltet werden, dass bei ansteigender Last die Verkleinerung des Verdrängungsvolumens zeitlich definiert verzögert wird, um die Spitzenleistung des Antriebs optimal nutzen zu können. Bei abfallender Last jedoch erfolgt die Rückverstellung des Verdrängungsvolumens möglichst verzögerungsfrei, um einen hohen Volumenstrom für den Lastabbau realisieren zu können. Als Filterfunktion kann vorteilhaft eine PDT1-Übertragungsfunktion verwendet werden.

[0042] Um insbesondere einen anwendungsbedingten Volumenstrom aufrechtzuerhalten, wird eine Änderung des Verdrängungsvolumens zweckmäßigerweise bei der Drehzahlvorgabe n_{soll} berücksichtigt. Das Produkt aus Drehzahl und Verdrängungsvolumen ist zum angeforderten bzw. notwendigen Volumenstrom proportional.

[0043] Den Signalflussplan einer bevorzugten Umsetzung eines solchen Filterkonzepts ist in Figur 2 gezeigt und insgesamt mit 200 bezeichnet.

[0044] Eingangsseitig (links) wird zunächst die Differenz der Druckwerte p_1 und p_2 gebildet und einer Betragsbildung

201 zugeführt. Ebenso wird der Betrag 202 der geschätzten zusätzlichen Druckdifferenz $\hat{p} = \hat{p}_{R,ges,schätz}$ addiert, um den gesamten maßgeblichen Differenzdruck Δp zu bilden. Dieser wird in einem Divisionsglied 203 bzw. 204 mit dem maximalen Antriebsmoment $M_{an,max}$ bzw. dem Dauerantriebsmoment $M_{an,0}$ verrechnet und anschließend in einem Glied 205, 206 mit den genannten Korrekturwerten und dem Maximalvolumen verrechnet, um die relationalen Volumenstellwerte zu erhalten.

[0045] Diese werden einer Filterfunktion 207, 208 zugeführt, welche insbesondere gemäß der nachfolgenden Gleichung ein PDT,-Übertragungsverhalten darstellt. Die entsprechenden Übertragungsfunktionen lauten:

$$g: G(s) = \frac{T_{N,Spitze} \cdot s + 1}{T_{P,Spitze} \cdot s + 1}$$

$$f: G(s) = \frac{T_{N,Dauer} \cdot s + 1}{T_{P,Dauer} \cdot s + 1}$$

[0046] Die sich ergebenden Ausgangswerte bzw. Stellgrößen $\alpha_{S,Spitze}$ und $\alpha_{S,Dauer}$ werden einem Minimalwertglied 209 zugeführt, welches das jeweilige kleinere Verdrängungsvolumen als tatsächliche Stellgröße α_{Soll} auswählt.

[0047] Eine vorteilhafte Parametrierung der Filterparameter lautet wie folgt:

Vorhaltzeit:

$$T_{N,Spitze} = T_{Stell}$$

Verzögerungszeit:

$$T_{P,Spitze} = 0$$

Vorhaltzeit:

$$T_{N,Dauer} = T_{Maxmoment} \cdot \left(1 - \frac{1}{e}\right) \cdot \text{SGN}(\dot{\alpha}_{S,Dauer,stat})$$

Verzögerungszeit:

$$T_{P,Dauer} = T_{Maxmoment} \cdot \left(1 - \frac{1}{e}\right)$$

[0048] Darin entspricht T_{Stell} dem Parameter eines vereinfachten Modells der Dynamik der Pumpenverstellung. $T_{Maxmoment}$ ist diejenige Zeit, die der Antrieb sein Spitzenmoment aufbringen können soll. Diese ist als wesentlicher Betriebsparameter des vorgestellten Verstellstrategie zu sehen und muss kleiner sein als die tatsächliche Zeit, nach der der Antrieb seine thermische Überlastung erreicht. Weiterhin ist e die Eulersche Zahl.

[0049] Zur weiteren Verbesserung des Verfahrens kann durch eine geeignete Schätzeinrichtung die Schätzung des Reibmoments auf die aktuellen Betriebsbedingungen angepasst werden. Eine mögliche Einrichtung wäre ein Integralregler für das statische Motormoment oder andere regelungstechnisch übliche Schätzeinrichtungen wie z.B. Beobachter.

[0050] Zur weiteren Verbesserung des Verfahrens kann unter Verwendung der gemessenen oder geschätzten thermischen Antriebsauslastung über Adaption des Korrekturfaktors K_{redMO} der effektive Grenzwert für das Dauerdrehmoment an die vorliegenden Betriebsbedingungen angepasst werden. In ähnlicher Art und Weise kann die zugelassene Überlastzeit $T_{Maxmoment}$ welche im Signalfilter Verwendung findet, an die vorliegenden Betriebsbedingungen angepasst werden.

[0051] Einen beispielhaften Verlauf von Betriebsgrößen bei Verwendung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist in Figur 3 gezeigt.

[0052] Dort sind im oberen Diagramm die Druckdifferenz 301 am Förderwerk sowie ein Antriebsmoment 302 am elektrischen Antrieb in beispielhaften Einheiten gegen die Zeit t ebenfalls in beispielhaften Einheiten aufgetragen. Ins-

besondere wird dabei ausgehend von einem Zeitpunkt 0 bis zu einem Zeitpunkt ca. 0,85 die Druckdifferenz und damit die Last von 0 bis ca. 100% erhöht.

[0053] Im unteren Diagramm sind das Verdrängungsvolumen in Prozent gegen die Zeit t für unterschiedliche Ansteuergrößen aufgetragen. Diese umfassen $\alpha_{\text{Soll,Dauer,stat}}$ 303, $\alpha_{\text{Soll,Spitze,dyn}}$ 304, $\alpha_{\text{Soll,Dauer,dyn}}$ 305, $\alpha_{\text{Soll,Spitze,stat}}$ 306. Weiterhin ist der sich bei einer beispielhaften Stelldynamik ergebende Ist-Schwenkwinkel α_{Ist} 307 aufgetragen.

[0054] Die beiden Bedingungen für die Begrenzung auf das Maximalmoment bzw. das Dauermoment ergeben bei der gezeigten ansteigenden Druckdifferenz die beiden statischen Schwenkwinkelsollwerte $\alpha_{\text{Soll,Dauer,stat}}$ 303 und $\alpha_{\text{Soll,Spitze,stat}}$ 306. Nach Filterung durch die entsprechenden Signalfilter 207 und 208 liegen die für die Schwenkwinkelregelung gültigen Sollwerte $\alpha_{\text{Soll,Dauer,dyn}}$ 305 und $\alpha_{\text{Soll,Spitze,dyn}}$ 304 vor. Das Minimalwertglied 209 führt der Regeleinrichtung 143 für den Schwenkwinkel den zum jeweiligen Zeitpunkt kleineren Wert von $\alpha_{\text{Soll,Dauer,dyn}}$ 305 und $\alpha_{\text{Soll,Spitze,dyn}}$ 304 als gültigen Sollwert zu. Bei einer üblichen Ausprägung der Regeleinrichtung 143 für den Schwenkwinkel als Proportionalregler ergibt sich eine zeitliche Verzögerung des Schwenkwinkel-Istwertes gegenüber dem Sollwert, welche beispielhaft durch den Istwertverlauf α_{Ist} 307 gezeigt ist.

[0055] Bei einer vorteilhaften Parametrierung der Filterzeiten kompensiert der Filter 207 für die Spitzenmomentenbegrenzung die Stelldynamik der Regeleinrichtung 143 so, dass der Istwert α_{Ist} 307 exakt dem statischen Sollwert $\alpha_{\text{Soll,Spitze,stat}}$ 306 folgt, so dass das Spitzenmoment trotz begrenzter Stelldynamik des Schwenkwinkelreglers nicht überschritten wird.

[0056] Weiterhin ist der Filter 208 für die Dauermomentenbegrenzung mit einer richtungsabhängigen Signalkomponente ausgestaltet, so dass bei Erhöhung des Lastmoments der wirksame Sollwert $\alpha_{\text{Soll,Dauer,dyn}}$ 305 dem Filtereingang $\alpha_{\text{Soll,Dauer,stat}}$ 303 nacheilt, um die gewünschte zeitlich begrenzte Maximallast der elektrischen Antriebsmaschine ausnutzen zu können, während bei Erniedrigung des Lastmoments der wirksame Sollwert $\alpha_{\text{Soll,Dauer,dyn}}$ 305 dem Filtereingang $\alpha_{\text{Soll,Dauer,stat}}$ 303 voreilt. Bei einer vorteilhaften Parametrierung der Filterzeiten, wie oben dargestellt, kompensiert der Filter 208 für die Dauermomentenbegrenzung die Stelldynamik der Regeleinrichtung 143 so, dass der Istwert α_{Ist} 307 exakt dem statischen Sollwert $\alpha_{\text{Soll,Dauer,stat}}$ 303 folgt, so dass bei sinkender Last die volle Leistungsfähigkeit der Motor-Pumpen-Einheit trotz begrenzter Stelldynamik des Schwenkwinkelreglers ohne Zeitverzug und unter Einhaltung der Drehmomentenbegrenzung zur Verfügung steht.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer drehzahlvariablen Verstellpumpe (120), bei der ein in einem Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel verstellbares Förderwerk (122) mittels eines drehzahlvariablen Antriebs (121), der ein Spitzen-Antriebsmoment ($M_{\text{An,max}}$) und ein Dauer-Antriebsmoment ($M_{\text{An,0}}$) hat, angetrieben wird, umfassend: Bestimmen eines Lastmoments (Δp) an der drehzahlvariablen Verstellpumpe (120), in Abhängigkeit von einem Betriebszustand, Vorgeben eines Sollwerts ($V_{\text{Pu,Soll}}$) für eine das Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße an eine Verstelleinrichtung (143) des Förderwerks so, dass ein Antriebsmoment des drehzahlvariablen Antriebs (121) entweder mehr als dem Dauer-Antriebsmoment ($M_{\text{An,0}}$) und höchstens dem Spitzen-Antriebsmoment ($M_{\text{An,max}}$) des Antriebs (121), oder höchstens dem Dauer-Antriebsmoment ($M_{\text{An,0}}$) des Antriebs (121) entspricht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Abhängigkeit von dem Betriebszustand durch eine Abhängigkeit von einer zeitlichen Veränderung des Lastmoments (Δp) an der drehzahlvariablen Verstellpumpe (120) berücksichtigt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei aus dem Lastmoment (Δp) und dem Spitzen-Antriebsmoment ($M_{\text{An,max}}$) des Antriebs (121) nach Maßgabe einer ersten Filterfunktion (207) mit zeitlicher Verzögerung ($T_{\text{P,Spitze}}$) eine erste Stellgröße ($\alpha_{\text{S,Spitze}}$) und aus dem Lastmoment (Δp) und dem Dauer-Antriebsmoment ($M_{\text{An,0}}$) des Antriebs (121) nach Maßgabe einer zweiten Filterfunktion (208) mit zeitlicher Verzögerung ($T_{\text{P,Dauer}}$) eine zweite Stellgröße ($\alpha_{\text{S,Dauer}}$) bestimmt wird, wobei der Sollwert ($V_{\text{Pu,Soll}}$) für die das Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße anhand der kleineren der ersten und zweiten Stellgröße vorgegeben wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die erste Filterfunktion (207) eine geringere zeitliche Verzögerung ($T_{\text{P,Spitze}}$) als die zweite Filterfunktion (208) hat, vorzugsweise null.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei die erste Filterfunktion (207) und/oder die zweite Filterfunktion (208) eine PDT1-Übertragungsfunktion mit einer Vorhaltzeit ($T_{\text{N,Spitze}}$, $T_{\text{N,Dauer}}$) und einer Verzögerungszeit ($T_{\text{P,Spitze}}$, $T_{\text{P,Dauer}}$) sind, wobei die Vorhaltzeit ($T_{\text{N,Spitze}}$, $T_{\text{N,Dauer}}$) insbesondere in Abhängigkeit von einer Stelldynamik der Verstelleinrichtung (143) des Förderwerks vorgegeben wird.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei in einem dynamischen Betriebszustand der Sollwert

($V_{Pu,Soll}$) für die das Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße so vorgegeben wird, dass das Antriebsmoment des drehzahlvariablen Antriebs (121) mehr als dem Dauer-Antriebsmoment ($M_{An,0}$) des Antriebs (121) und höchstens dem Spitzen-Antriebsmoment des Antriebs (121) entspricht.

- 5 **7.** Verfahren nach Anspruch 6, wobei in dem dynamischen Betriebszustand der Sollwert ($V_{Pu,Soll}$) für die das Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße so vorgegeben wird, dass das Antriebsmoment des drehzahlvariablen Antriebs (121) höchstens für eine zulässige Überlastzeit mehr als dem Dauer-Antriebsmoment ($M_{An,0}$) des Antriebs (121) und höchstens dem Spitzen-Antriebsmoment des Antriebs (121) entspricht.
- 10 **8.** Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Überlastzeit unter Verwendung einer ermittelten thermischen Antriebsauslastung angepasst wird, und vorzugsweise in Rückbezug auf Anspruch 3, wobei die zeitliche Verzögerung ($T_{P,Dauer}$) der zweiten Filterfunktion (208) in Abhängigkeit von der Überlastzeit vorgegeben wird.
- 15 **9.** Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei in einem statischen Betriebszustand der Sollwert ($V_{Pu,Soll}$) für die das Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße so vorgegeben wird, dass das Antriebsmoment des drehzahlvariablen Antriebs (121) höchstens dem Dauer-Antriebsmoment des Antriebs (121) entspricht.
- 20 **10.** Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Bestimmen des Lastmoments an der drehzahlvariablen Verstellpumpe (120) ein Bestimmen einer Druckdifferenz (Δp) zwischen einem Einlass und einem Auslass des Förderwerks (122) umfasst.
- 25 **11.** Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Bestimmen des Lastmoments an der drehzahlvariablen Verstellpumpe (120) ein Bestimmen einer Reibung als zusätzliche Druckdifferenz ($\hat{p}$) umfasst.
- 30 **12.** Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Spitzen-Antriebsmoment ($M_{an,max}$) des Antriebs (121) und/oder das Dauer-Antriebsmoment ($M_{an,0}$) des Antriebs (121) als Produkt mit einem Korrekturfaktor ($K_{redMmax}$, K_{redM0}) berücksichtigt werden.
- 35 **13.** Verfahren nach Anspruch 12, wobei der Korrekturfaktor ($K_{redMmax}$, K_{redM0}) unter Verwendung einer ermittelten thermischen Antriebsauslastung angepasst wird.
- 40 **14.** Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, zusätzlich umfassend: Vorgeben eines Sollwerts (n_{Soll}) für die Drehzahl des drehzahlvariablen Antriebs (121) in Abhängigkeit von dem Sollwert ($V_{Pu,Soll}$) oder einem Istwert ($V_{Pu,Sst}$) für die das Verdrängungsvolumen je Arbeitsspiel bestimmende Kenngröße.
- 45 **15.** Recheneinheit (140), die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.
- 50 **16.** Elektrohydraulisches System (100) umfassend eine drehzahlvariable Verstellpumpe (120) mit einem drehzahlvariablen Antrieb (121) und eine Recheneinheit (140) nach Anspruch 15.
- 55 **17.** Computerprogramm, das die Recheneinheit (140) des elektrohydraulischen Systems (100) nach Anspruch 16 veranlasst, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15 durchzuführen, wenn es auf der Recheneinheit (140) ausgeführt wird.
- 18.** Maschinenlesbares Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm nach Anspruch 17.

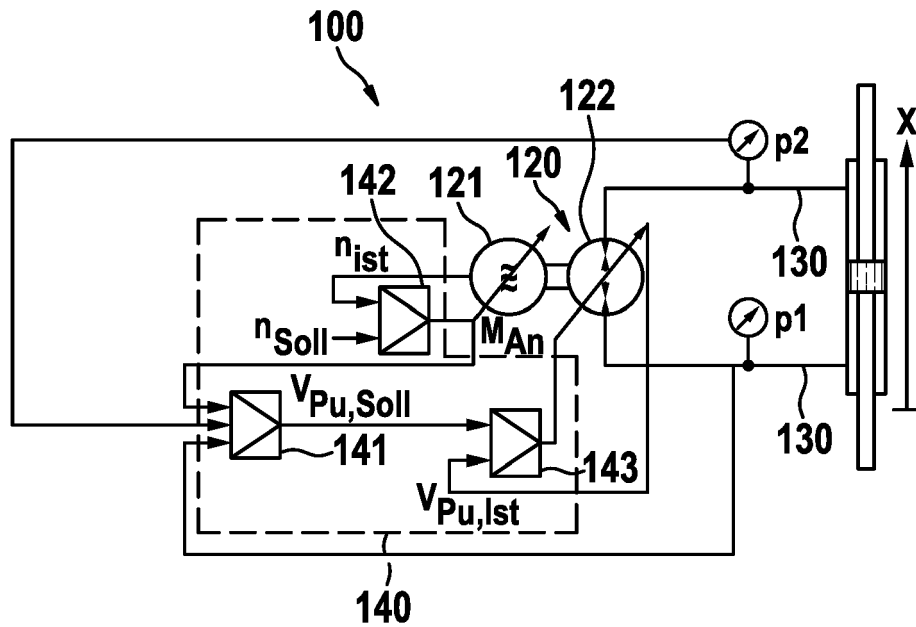


Fig. 1

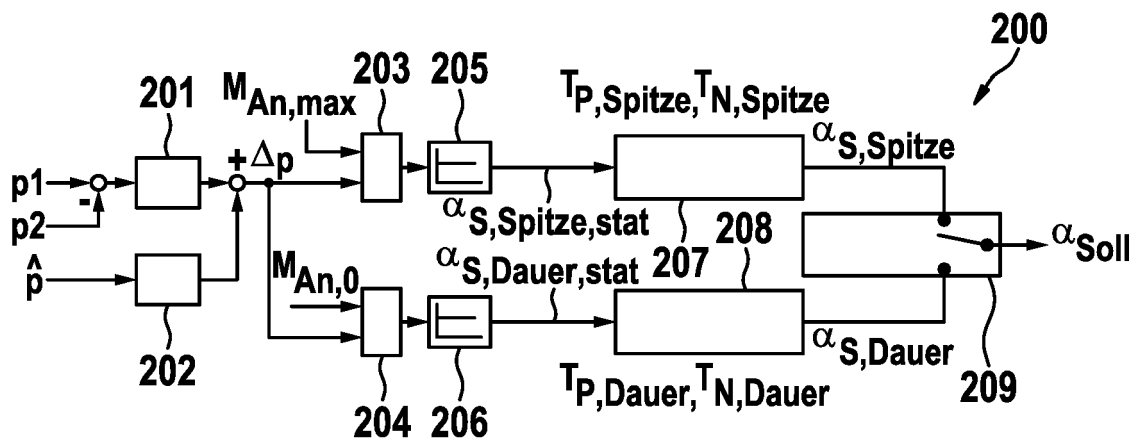


Fig. 2

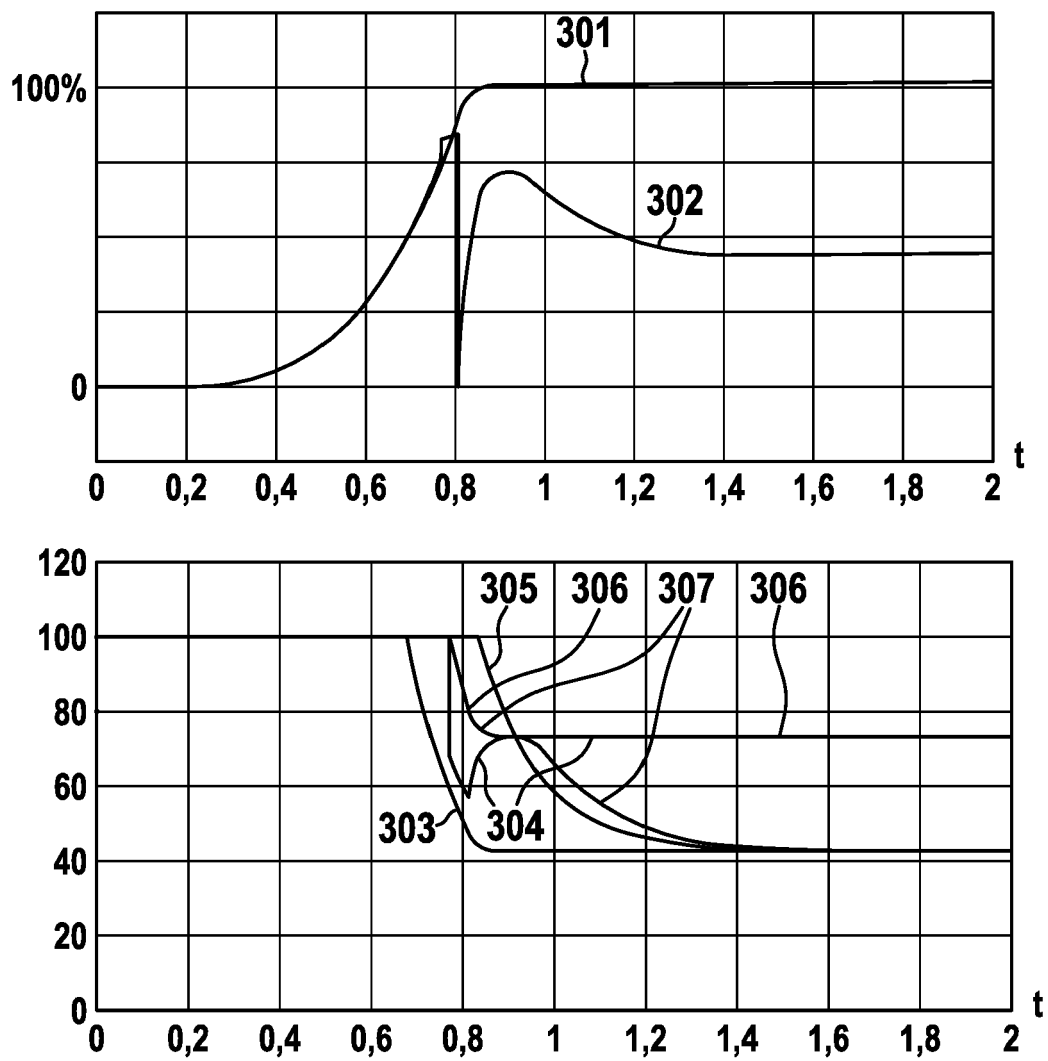


Fig. 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 16 4373

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 2021/025414 A1 (GEIGER DANIEL [DE] ET AL) 28. Januar 2021 (2021-01-28)	1, 6, 9, 10, 14-18	INV. F04B1/12
A	* Absätze [0053], [0054] *	2-5, 7, 8, 11-13	F04B1/26 F04B1/34 F04B49/00 F04B49/06

X	US 2021/025138 A1 (MUEHLBAUER FLORIAN [DE] ET AL) 28. Januar 2021 (2021-01-28)	1, 6, 9, 10, 14-18	
A	* Absätze [0032], [0039] *	2-5, 7, 8, 11-13	

X	US 2014/371915 A1 (ISHIHARA SHINJI [JP] ET AL) 18. Dezember 2014 (2014-12-18)	1, 6, 9, 10, 14-18	
A	* Absatz [0048] *	2-5, 7, 8, 11-13	

A	US 6 020 651 A (NAKAMURA KAZUNORI [JP] ET AL) 1. Februar 2000 (2000-02-01)	1-18	
	* Spalte 6, Zeile 64 - Spalte 7, Zeile 9 *		

A	US 8 668 465 B2 (WADSLEY LUKE [US]; CALDWELL NIALL [GB]; SAUER DANFOSS APS [DK]) 11. März 2014 (2014-03-11)	1-18	
	* Spalte 8, Zeile 64 - Spalte 9, Zeile 5 *		
	* Abbildung 1 *		

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 4. August 2023	Prüfer Lange, Christian
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 23 16 4373

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

04-08-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2021025414 A1	28-01-2021	CN 112306113 A	02-02-2021
		DE 102019219206 A1	28-01-2021
		EP 3770419 A1	27-01-2021
		JP 2021021392 A	18-02-2021
		US 2021025414 A1	28-01-2021

US 2021025138 A1	28-01-2021	CN 112303049 A	02-02-2021
		DE 102019219451 A1	28-01-2021
		JP 2021021394 A	18-02-2021
		US 2021025138 A1	28-01-2021

US 2014371915 A1	18-12-2014	CN 104159803 A	19-11-2014
		DE 112012005571 T5	25-09-2014
		JP 5916763 B2	11-05-2016
		JP WO2013103133 A1	11-05-2015
		KR 20140109407 A	15-09-2014
		US 2014371915 A1	18-12-2014
		WO 2013103133 A1	11-07-2013

US 6020651 A	01-02-2000	CN 1208814 A	24-02-1999
		DE 69817921 T2	22-07-2004
		EP 0884422 A2	16-12-1998
		JP 3587957 B2	10-11-2004
		JP H112144 A	06-01-1999
		KR 19990006886 A	25-01-1999
		US 6020651 A	01-02-2000

US 8668465 B2	11-03-2014	CN 101910627 A	08-12-2010
		EP 2055942 A1	06-05-2009
		US 2010322791 A1	23-12-2010
		WO 2009056142 A1	07-05-2009

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 2192309 B1 [0003]