

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
2. Dezember 2010 (02.12.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/136271 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
F15B 11/04 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/055280

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. April 2010 (21.04.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 026 609.7 29. Mai 2009 (29.05.2009) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **METSO PAPER, INC.** [FI/FI]; Fabianinkatu 9 A, FI-00130 Helsinki (FI).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HOPPONEN, Ville** [FI/FI]; Tuurenpolku 4, FI-04600 Mäntsälä (FI).

(74) Anwälte: **LESON, Thomas J.A.** et al.; Bavariaring 4-6, 80336 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

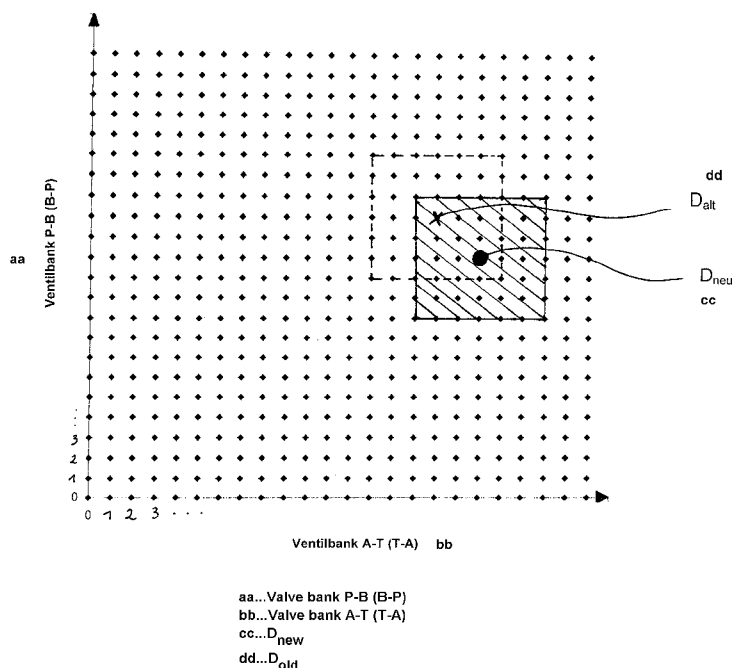
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CONTROL METHOD OF A DIGITAL HYDRAULIC CONTROLLER

(54) Bezeichnung : STEUERUNGSVERFAHREN EINES DIGITALHYDRAULISCHEN REGLERS

Fig. 3



(57) Abstract: A digital hydraulic controller has valves that can be switched individually and in different combinations thereof. Each of these valve switch combinations corresponds to a flow rate. A currently required flow rate (D_{new}) is selected from a limited number of flow rates which are smaller than the entire number of flow rates. The limited number of flow rates lies in a range close to the previous current flow rate (D_{old}).

(57) Zusammenfassung: Ein digitalhydraulischer Regler hat Ventile, die einzeln und in unterschiedlichen Kombinationen miteinander schaltbar sind. Jede dieser Ventilschaltkombinationen entspricht einem Durchfluss. Ein aktuell erforderlicher Durchfluss (D_{neu}) wird aus einer begrenzten Anzahl von Durchflüssen ausgewählt, die kleiner als die Gesamtanzahl der Durchflüsse ist. Außerdem liegt die begrenzte Anzahl der Durchflüsse in einem Bereich um den vorangehend aktuellen Durchfluss (D_{alt}).



Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

STEUERUNGSVERFAHREN EINES DIGITALHYDRAULISCHEN REGLERS

Beschreibung

5 Die Erfindung betrifft ein Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers.

Hydraulik wird verbreitet als Betätigungs- und Steuerungsmittel eingesetzt; insbesondere werden
10 Stellglieder hydraulisch angetrieben, mit denen große Kräfte mit hoher Genauigkeit eingestellt und ausgeübt werden können.

In der Regel wird ein Arbeitsfluid, z.B. Hydrauliköl,
15 Wasser, eine Wasseremulsion, ein Gas oder eine Gasemulsion verwendet, das von einer Pumpe unter Druck gesetzt wird. Die Einleitung des unter Druck stehenden Hydrauliköls in ein hydraulisches Stellglied, wie z.B. einen Hydraulikzylinder oder einen Hydraulikmotor wird
20 typischerweise durch ein proportionales Steuerventil oder Proportionalventil gesteuert, das elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch angetrieben sein kann.

Ein solches Steuerventil hat einen verschieb- oder
25 verlagerbaren Steuerschieber oder Steuerkolben, der in Antwort auf seine Lage in einem zugehörigen Ventilgehäuse einen Solldruck am Ausgang einstellen kann, indem der Druck von der Pumpe gelieferten Hydrauliköls heruntergeregelt wird. Die Beweglichkeit des Steuerkolbens im Ventilgehäuse
30 erfordert zwingend ein gewisses Spiel oder Spaltmaß zwischen Steuerkolben und Ventilgehäuse, so dass eine innere Leckage des Steuerventils unvermeidbar ist. Das Spaltmaß darf nicht zu eng gewählt werden, denn sonst würde das Ventil zu anfällig gegen Verschmutzungen im
35 Hydrauliköl.

In letzter Zeit wurden alternative Druckregler entwickelt, die in dieser Anmeldung durchgängig als digitalhydraulische Druckregler bezeichnet werden sollen. Werden solche
5 digitalhydraulischen Druckregler als Druckminderer eingesetzt, werden diese in der vorliegenden Anmeldung durchgehend als digitalhydraulische Druckminderer bezeichnet.

10 Die Arbeitsweise der digitalhydraulischen Druckregler ist beispielsweise in der Zeitschrift Fluid Nr. 7-8, 2008 S. 12, 13 genauer beschrieben. Der verbesserten Lesbarkeit dieser Anmeldung halber wird die Arbeitsweise digitalhydraulischer Druckregler nochmals sehr kurz
15 zusammengefasst dargestellt:

Ein digitalhydraulischer Druckregler besteht im einfachen Fall aus einer Reihe parallel geschalteter Ventile, die lediglich AUF/ZU Funktion besitzen; also einfache EIN/AUS-
20 Schaltventile sind, die einen Durchfluss zulassen oder unterbrechen und in dieser Anmeldung durchgängig als Ventile bezeichnet werden können. Die Ventile sind alle mit einer gemeinsamen Zuführleitung einerseits und mit einer gemeinsamen Ausgangsleitung andererseits verbunden. Die
25 Ventile selbst können herkömmliche Solenoidventile, d.h. Ventile mit elektromagnetischem Antrieb sein. Natürlich können auch andere Antriebsformen gewählt werden.

Durch Anschluss oder Einbau von Drosselementen bzw. durch
30 die Ventile selbst ist dafür gesorgt, dass die Ventile unterschiedliche Durchflüsse haben, wenn sie geöffnet sind. Wenn beispielsweise vier Ventile vorgesehen sind, so können die Durchflussraten Q in den einzelnen, jeweils von dem zugehörigen Ventil wahlweise freigebbaren Durchlässen im
35 Verhältnis von 1:2:4:8 zueinander stehen; bei einer

größeren Anzahl von Ventilen wird diese Reihe entsprechend fortgesetzt.

Durch Öffnen und Schließen einzelner Ventile bzw.

5 Ventilkombinationen, die auf der Basis von mathematischen Modellen von einem Rechner bestimmt und ausgewählt werden, kann nun eine rasche und präzise Druckeinstellung in der Ausgangsleitung bzw. in dem daran angeschlossenen Stellglied erreicht werden. Dies wird erreicht, indem die
10 analoge Regelkurve des eingangs geschilderten proportionalen Steuerventils durch eine digital erstellte (angenäherte) Regelkurve ersetzt wird. Diese Kurve kann wegen des Wegfalls von Nichtlinearitäten und/oder Hysterese des analogen Proportionalventils eine stufenförmig
15 angenäherte Gerade sein, die es erlaubt, einen Regelpunkt schnell und (nahezu) überschwingungsfrei anzufahren.

Ein weiterer Vorteil der digitalhydraulischen Regelung liegt darin, dass die Ventile entweder offen oder
20 geschlossen sind, d.h. zum Halten eines Solldrucks in einem geschlossenen (und unveränderten) System sind die Ventile einfach geschlossen und es gibt keine inneren Leckageströme. Damit besteht ein deutlicher Unterschied zum herkömmlichen Proportionalventil, das stets von einem
25 Hydraulikölstrom durchflossen ist. Dies kostet ständig Energie für die Hydraulikpumpen, z.B. in der Papiermaschine.

Somit ist zu erkennen, dass es der Einsatz von
30 digitalhydraulischen Druckreglern gestattet, die Hydraulikpumpen weniger oft oder kürzer zu betreiben, wodurch Energie gespart werden kann.

Einem digitalhydraulischen Stellglied sind im Normalfall
35 vier Ventilbänke zugeordnet, die jeweils eine gleiche

Anzahl von Ventilen und/oder Drosseln aufweisen. Eine schematische Darstellung eines solchen Hydrauliksystems, das beispielsweise an einer Papiermaschine eingesetzt werden kann, ist der Fig. 1 zu entnehmen. Die Ventilbänke werden auch als digitale Strömungssteuerungseinheit bezeichnet und sind daher in der Fig. 1 mit der Abkürzung DFCU versehen.

Das Hydrauliksystem der Fig. 1 besteht aus einem mittels zwei Stellgliedern 1, 5 verschiebbaren Zylinder 3, der gegen einen fest angeordneten Zylinder 7 zu führen ist. Die Stellglieder 1, 5 weisen eine erste Kammer A und eine zweite Kammer B auf. Wird der Druck in der jeweiligen Kammer A im Verhältnis zu dem Druck in der jeweiligen Kammer B erhöht, kommt es zu einer Zustellbewegung des beweglichen Zylinders 3 gegen den festen Zylinder 7. Im Gegensatz kommt es zu einer Zurückstellbewegung, wenn der Druck in der jeweiligen Kammer B erhöht wird. Jedem Stellglied 1, 5 ist dabei ein digitalhydraulischer Regler 2, 4 zugeordnet, die den gleichen Aufbau aufweisen.

Um die Zustellbewegung zu erreichen, werden die Ventile der Ventilbänke P-A in den beiden digitalhydraulischen Reglern 2, 4 so geschaltet, dass eine Verbindung zwischen einer Pumpe P zur Erzeugung eines hydraulischen Drucks in einem Arbeitsfluid und der Kammer A in den Stellgliedern 1, 5 hergestellt ist. Gleichzeitig werden die Ventile der Ventilbänke B-T in den digitalhydraulischen Reglern geschaltet, um für das Hydraulikfluid eine Verbindung zwischen den jeweiligen Kammern B und einem Tank T herzustellen. Durch das Schalten der Ventile entsteht ein bestimmter Durchfluss für das Hydraulikfluid.

Für eine Zurückstellbewegung werden dementsprechend die Ventilbänke P-B und A-T in den beiden digitalhydraulischen

Reglern 2, 4 so geschaltet, dass eine Verbindung zwischen der Pumpe P und der Kammer B in den Stellgliedern hergestellt ist.

5 Zwischen der der Pumpe und den Ventilbänken kann außerdem ein Druckspeicher vorgesehen sein, der nach Bedarf über die Pumpe mit Hydraulikfluid versorgt wird, damit in dem Hydrauliksystem jederzeit ein Mindest-Hydraulikdruck verfügbar ist. Dabei kann der Druckspeicher mit dem
10 Hydraulikfluid aus dem Tank T gespeist werden.

Da das Hydraulikfluid in beiden Richtungen durch die Ventilbänke A-T, P-A, P-B, B-T strömen kann, ist es in bestimmten Betriebszuständen möglich, die Ventilbänke so zu
15 schalten, dass das Hydraulikfluid aus dem Tank in eine der Kammern A oder B (T-A; T-B) gesaugt wird. Ebenfalls kann es in bestimmten Betriebszuständen möglich sein, das Hydraulikfluid aus einer der Kammern A oder B zu dem Druckspeicher bzw. der Pumpe (A-P; B-P) strömen zu lassen.

20

Da jede Ventilbank mehrere Ventile und Drosseln gleicher aufweist, besteht eine sehr große Anzahl an verschiedenen Ventilschaltkombinationen bzw. diesen jeweils
entsprechenden Durchflüssen. Beispielsweise gibt es bei
25 sechs Ventilen pro Ventilbank eine Anzahl von $2^{12} = 4096$ unterschiedlichen Ventilschaltkombinationen bzw. Durchflüssen alleine für die Zustellbewegung, sowie weitere 4096 Durchflüsse für die Zurückstellbewegung.

30 Da es einer übermäßig hohen Rechnerleistung bedarf, um in dem Betrieb eines derartigen Hydrauliksystems die gerade erforderlichen Durchflüsse zu ermitteln, wurde ein Ansatz unternommen, gemäß dem lediglich die Durchflüsse überprüft werden, die zur Herbeiführung eines gewünschten Drucks in
35 dem Stellglied 1 am wahrscheinlichsten erforderlich sind.

Fig. 4 stellt die Reduktion der zu überprüfenden Durchflüsse anhand eines Koordinatensystems dar, in dem jeder Punkt einer möglichen Ventilschaltkombination bzw.
5 einem möglichen Durchfluss entspricht. Allerdings sind aus Platzgründen nicht alle 4096 möglichen Durchflüsse dargestellt.

Der schraffierte Bereich in Fig. 4 bezeichnet einen Sektor,
10 in dem die wahrscheinlichsten Durchflüsse liegen, die für die Überprüfung in Erwägung gezogen werden. Gemäß dem Stand der Technik werden die außerhalb dieses Sektors liegenden Durchflüsse bei der Überprüfung außer Acht gelassen. In dem Fall der erwähnten sechs Ventile pro Ventilbank wird auf
15 diese Weise die Anzahl der zu überprüfenden Durchflüsse auf ca. 400 bis 800 reduziert.

Obwohl diese Reduktion zu einer geringeren Anforderung an die verwendete Rechnerleistung führt, ist die erforderliche
20 Rechnerleistung zur Überprüfung dieser 400 bis 800 Durchflüsse immer noch zu hoch bzw. erfordert die Überprüfung zu viel Zeit. Das wiederum wirkt sich nachteilig auf die Steuerung des Hydrauliksystems aus.

25 Außerdem ist es durch die Einschränkung auf die 400 bis 800 wahrscheinlichsten Ventilschaltkombinationen nicht möglich, außerhalb dieses Bereichs liegende, andere Ventilschaltkombinationen herzustellen. Daher ist es nicht möglich, in besonderen, von den am öftesten auftretenden
30 Standardsituationen abweichenden Situationen entsprechend zu reagieren.

Somit ist es die Aufgabe der Erfindung, ein Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers

bereitzustellen, das eine verringerte Rechnerleistung erfordert.

Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein
5 Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen werden gemäß den abhängigen Ansprüchen ausgeführt.

Erfindungsgemäß hat ein digitalhydraulischer Regler
10 Ventile, die einzeln und in unterschiedlichen Kombinationen miteinander schaltbar sind. Jede dieser Ventilschaltkombinationen entspricht einem Durchfluss. Ein aktuell erforderlicher Durchfluss wird aus einer begrenzten Anzahl von Durchflüssen ausgewählt, die kleiner als die
15 Gesamtanzahl der Durchflüsse ist. Außerdem liegt die begrenzte Anzahl der Durchflüsse in einem Bereich um den vorangehend aktuellen Durchfluss.

Dadurch kann sich die Steuerung vorteilhaft in sämtliche
20 Richtungen an die Ventilkombination herantasten, deren entsprechender Durchfluss das in dem Stellglied erforderliche Druckverhältnis schafft. Außerdem ist die Steuerung dabei nicht auf eine eingeschränkte Anzahl der Durchflüsse beschränkt.

25 Vorteilhaft sind die Ventile auf zwei Ventilbänke bzw. digitale Strömungssteuerungseinheiten aufgeteilt, sodass die Durchflüsse in ein zweidimensionales Koordinatensystem übertragen werden können. Die Achsen des Koordinatensystems
30 entsprechen dabei den Ventilschaltkombinationen bzw. Durchflüssen der einzelnen Ventilbänke.

Besonders vorteilhaft kann es sein, den Bereich, aus dem die Auswahl des aktuell erforderlichen Durchflusses
35 erfolgt, als Durchflussfeld in dem Koordinatensystem zu

definieren. Dabei kann der Mittelpunkt des Durchflussfelds vorteilhaft durch den vorangehend aktuellen Durchfluss gebildet werden.

- 5 Außerdem kann das Durchflussfeld in Richtung der Ordinate wie auch in Richtung der Abszisse durch die gleiche Anzahl an Durchflüssen definiert sein.

10 Besonders vorteilhaft kann es sein, wenn die Ventilbänke jeweils sechs Ventile aufweisen, dass das Durchflussfeld eine quadratische Form aufweist, die durch 7×7 Durchflüsse oder durch 4×4 Durchflüsse definiert sein kann.

- 15 Alternativ kann das Durchflussfeld auch andere Formen wie z.B. eine Kreuzform, eine Kreisform oder eine Ellipsenform aufweisen.

20 Erfindungsgemäß kann die Auswahl des aktuell erforderlichen Durchflusses mittels eines mathematischen Algorithmus aus der begrenzten Anzahl von Durchflüssen bzw. aus dem Durchflussfeld durchgeführt werden. Besonders vorteilhaft kann dabei eine Penalty-Funktion als mathematischer Algorithmus eingesetzt werden.

25 Besonders vorteilhaft entspricht der aktuell erforderliche Durchfluss jener Ventilschaltkombination, die zu einem Druck führt, der am nächsten zu einem Solldruck liegt. Dabei kann der Solldruck dem Druck entsprechen, der zur Erreichung eines bestimmten Zustands in einer Druckkammer eines Stellglieds vorliegen soll.

30

Ein digitalhydraulischer Regler, der gemäß dem voranstehend geschilderten Steuerungsverfahren betrieben wird, kann in
35 einem Hydrauliksystem für eine Maschine mit einem

hydraulischen Stellglied eingesetzt sein. Des Weiteren kann in dem Hydrauliksystem ein Hochdruckspeicher zur Bevorratung eines hydraulischen Arbeitsfluids unter Druck sowie eine Pumpe, um das Arbeitsfluid mit hohem Druck in den Hochdruckspeicher einzuspeisen und diesen aufzuladen, vorgesehen sein.

Weitere Vorteile der Erfindung werden aus der folgenden Beschreibung deutlich, die zusammen mit den Figuren zu berücksichtigen ist.

In den Figuren zeigt:

Fig. 1 ein Hydrauliksystem für eine Maschine an dem das Steuerungsverfahren gemäß der Erfindung angewendet werden kann;

Fig. 2 eine schematische Ansicht eines beispielhaften Aufbaus von digitalen Strömungssteuerungseinheiten eines digitalhydraulischen Reglers;

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Verfahrens, einen aktuell erforderlichen Durchfluss auszuwählen gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Verfahrens zur Reduzierung von auszuwählenden Durchflüssen gemäß dem Stand der Technik.

Ein Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers gemäß der Ausführungsform kann an einem Hydrauliksystem gemäß Fig. 1 ausgeführt werden, das bereits in der Beschreibungseinleitung behandelt wurde. Fig. 2 zeigt eine schematische Anordnung der einzelnen digitalen Strömungssteuerungseinheiten (DFCU) bzw. Ventilbänke A-T,

P-A, P-B, B-T, die jeweils fünf Ventile aufweisen. Bei den Ventilen handelt es sich um Solenoidventile. Den Ventilen ist eine Drossel nachgeschaltet, wodurch unterschiedliche Durchflussstärken der einzelnen Ventile erreicht werden.

5

In Fig. 2 sind die Ventilbänke des digitalhydraulischen Reglers 2 dargestellt, der dem Stellglied 1 zugeordnet ist. Dabei werden die Ventilbänke P-A und B-T für eine Zustellbewegung kombiniert, während die Ventilbänke P-B und A-T für eine Zurückstellbewegung kombiniert werden.

10

Obwohl dieser in Fig. 1 und Fig. 2 nicht dargestellt ist, ist zwischen der Pumpe und den Ventilbänken ein Druckspeicher vorgesehen, der nach Bedarf über die Pumpe mit Hydraulikfluid versorgt wird, damit jederzeit ein Mindest-Hydraulikdruck verfügbar ist. Dabei kann der Druckspeicher mit dem Hydraulikfluid aus dem Tank T gespeist werden.

15

In den folgenden Ausführungen zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Steuerungsverfahrens eines digitalhydraulischen Reglers wird eine Zurückstellbewegung am Beispiel des digitalhydraulischen Reglers behandelt. Dabei wird das Hydraulikfluid von der Pumpe bzw. dem Druckspeicher über die Ventilbank P-B in die Kammer B des Stellglieds 1 geleitet, während das Hydraulikfluid aus der Kammer A des Stellglieds 1 über die Ventilbank A-t in den Tank geleitet wird.

25

Fig. 3 zeigt ein Koordinatensystem, das einen Teil der möglichen Ventilschaltkombinationen der Ventilbänke P-B und A-T darstellt. In Klammern ist die unter bestimmten Betriebszuständen mögliche Umkehr der Strömungsrichtung (B-P und T-A) angezeigt. Dabei entspricht jeder Punkt in dem Koordinatensystem einem möglichen Durchfluss der durch eine

35

Ventilschaltkombination der Ventilbänke P-B und A-T herbeigeführt wird. Da die Ventilbänke P-B und A-T jeweils fünf Ventile aufweisen, gibt es in Summe $2^{10} = 1024$ mögliche Ventilschaltkombinationen bzw. Durchflüsse.

5

Um die Zurückstellbewegung durchzuführen, wird ausgehend von einem vorangehend aktuellen Durchfluss D_{alt} mittels einer Penaltyfunktion ein aktuell erforderlicher Durchfluss D_{neu} ermittelt, dessen Ventilschaltkombination in dem Stellglied für den Druck sorgt, der am nächsten zu dem für die Zurückstellbewegung erforderlichen Solldruck liegt.

10

Gemäß dem Verfahren der Ausführungsform wird vor der Bestimmung mittels der Penaltyfunktion ein Durchflussfeld in Form eines Quadrats um den vorangehend aktuellen Durchfluss D_{alt} definiert. Das quadratische Feld weist dabei $7 \times 7 = 49$ Durchflüsse auf und ist in der Fig. 3 mittels gestrichelten Linien dargestellt.

15

Aus diesem Grund müssen anstelle der 1024 möglichen Durchflüsse lediglich 49 Durchflüsse einschließlich des vorangehend aktuellen Durchflusses D_{alt} mittels der Penaltyfunktion überprüft werden. Dies führt zu einer vorteilhaften Reduktion der erforderlichen Rechnerleistung bzw. Rechenzeit von ca. 1/20.

20
25

Um den ermittelten aktuell erforderlichen Durchfluss D_{neu} wird dann im nächsten Schritt ein neues Durchflussfeld definiert, dessen Größe wieder 7×7 Durchflüsse beträgt.

30

In der Fig. 3 ist dieses neue Durchflussfeld mit durchgehenden Linien und Schraffur gezeichnet. Danach wird der aktuell erforderliche Durchfluss D_{neu} als vorangehend aktueller Durchfluss definiert und die Ermittlung des nächsten aktuell erforderlichen Durchflusses erfolgt aus

einem der in dem schraffierten Quadrat liegenden Durchflüsse.

In einem Versuch, der von den Erfindern durchgeführt wurde, wurden in einem Hydrauliksystem gemäß dem in Fig. 1 dargestellten, pro Ventilbank sechs Ventile vorgesehen, was zu $2^{12} = 4096$ unterschiedlichen Ventilschaltkombinationen führte. Die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit einem quadratischen Durchflussfeld von $7 \times 7 = 49$ Durchflüssen, führte dabei gegenüber dem aus dem Stand der Technik in Fig. 4 dargestellten Verfahren zu einer Verbesserung von 4,29 ms auf 0,23 ms bei der Zustellbewegung und zu einer Verbesserung von 3,065 ms auf 0,41 ms bei der Zurückstellbewegung.

In einem weiteren Versuch wurde das Verfahren ebenfalls bei einer Druckanpassung in einem Zustand durchgeführt, in dem der Zylinder 3 vollständig an den festen Zylinder 7 zugestellt war. Die Druckanpassung ist bei einem Betrieb von z.B. einer Papiermaschine in diesem Zustand erforderlich, um jederzeit die Einhaltung des erforderlichen Abstands und Drucks zwischen den Zylindern sicherzustellen, um einerseits ein hervorragendes Produkt zu erhalten und andererseits Beschädigungen oder ein Versagen der Zylinder zu verhindern.

Bei der Druckanpassung wurde das Durchflussfeld von 126 Punkten gemäß dem Stand der Technik auf 16 Punkte reduziert, wodurch es zu einer Zeitverringerung von 2,1 ms auf 0,31ms kam.

Ein weiterer Vorteil, der durch das erfindungsgemäße Verfahren erreicht wird, ist, dass es aufgrund der Verringerung der notwendigen Rechnerleistung auf einem handelsüblichen PC anstelle eines speziell konstruierten

Forschungs-PC mit übermäßig hoher Rechnerleistung betrieben werden kann.

Somit ist es mittels des erfindungsgemäßen

- 5 Steuerungsverfahrens für einen digitalhydraulischen Regler
möglich, die Rechenzeit bzw. die erforderliche Rechenzeit
wesentlich zu reduzieren, was einerseits eine schnellere
Durchführung der Steuerung ermöglicht und andererseits zu
einer wesentlichen Kostenreduktion führt, da handelsübliche
10 Industrierechner eingesetzt werden können.

Patentansprüche

1. Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers mit Ventilen, die einzeln und in unterschiedlichen
5 Kombinationen miteinander schaltbar sind, wobei jede dieser Ventilschaltkombinationen einem Durchfluss entspricht,

dadurch gekennzeichnet, dass

ein aktuell erforderlicher Durchfluss (D_{neu}) aus einer begrenzten Anzahl von Durchflüssen ausgewählt wird, die
10 kleiner als die Gesamtanzahl der Durchflüsse ist, und die in einem Bereich um den vorangehend aktuellen Durchfluss (D_{alt}) liegen.

2. Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers
15 nach Anspruch 1, wobei die Ventile auf zwei Ventilbänke (A-T, P-B; P-A, B-T) aufgeteilt sind, und die Durchflüsse in ein zweidimensionales Koordinatensystem übertragen werden, dessen Achsen den Ventilschaltkombinationen bzw. den Durchflüssen der einzelnen Ventilbänke (A-T, P-B; P-A, B-T)
20 entsprechen.

3. Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers nach Anspruch 2, wobei der Bereich, aus dem die Auswahl des aktuell erforderlichen Durchflusses (D_{neu}) erfolgt, als
25 Durchflussfeld in dem Koordinatensystem definiert ist.

4. Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers nach Anspruch 3, wobei der Mittelpunkt des Durchflussfelds durch den vorangehend aktuellen Durchfluss (D_{alt}) gebildet
30 wird.

5. Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers nach Anspruch 3 oder 4, wobei das Durchflussfeld durch die gleiche Anzahl an Durchflüssen in Richtung der Ordinate und
35 in Richtung der Abszisse definiert ist.

6. Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei das Durchflussfeld eine quadratische Form aufweist.

5

7. Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers nach Anspruch 6, wobei pro Ventilbank sechs Ventile vorgesehen sind, und das Feld durch $7 \times 7 = 49$ Durchflüsse oder durch $4 \times 4 = 16$ Durchflüsse definiert ist.

10

8. Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers nach Anspruch 5, wobei das Durchflussfeld eine Kreuzform aufweist.

15

9. Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Auswahl des aktuell erforderlichen Durchflusses (D_{neu}) aus der begrenzten Anzahl von Durchflüssen bzw. aus dem Durchflussfeld mittels eines mathematischen Algorithmus durchgeführt wird.

20

10. Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers nach Anspruch 9, wobei als mathematischer Algorithmus eine Penalty-Funktion eingesetzt wird.

25

11. Steuerungsverfahren eines digitalhydraulischen Reglers nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der aktuell erforderliche Durchfluss (D_{neu}) zu einem Druck führt, der am nächsten zu einem Solldruck liegt.

30

12. Hydrauliksystem für eine Maschine mit
einem hydraulischen Stellglied,
einem Hochdruckspeicher zur Bevorratung eines
hydraulischen Arbeitsfluids unter Druck,

einer Pumpe, um das Arbeitsfluid mit hohem Druck in den Hochdruckspeicher einzuspeisen und diesen aufzuladen, und einem digitalhydraulischen Druckregler, der dem hydraulischen Stellglied zugeordnet ist und Mittel zur
5 Steuerung nach dem Steuerungsverfahren gemäß den vorangehenden Ansprüchen aufweist.

Fig. 1

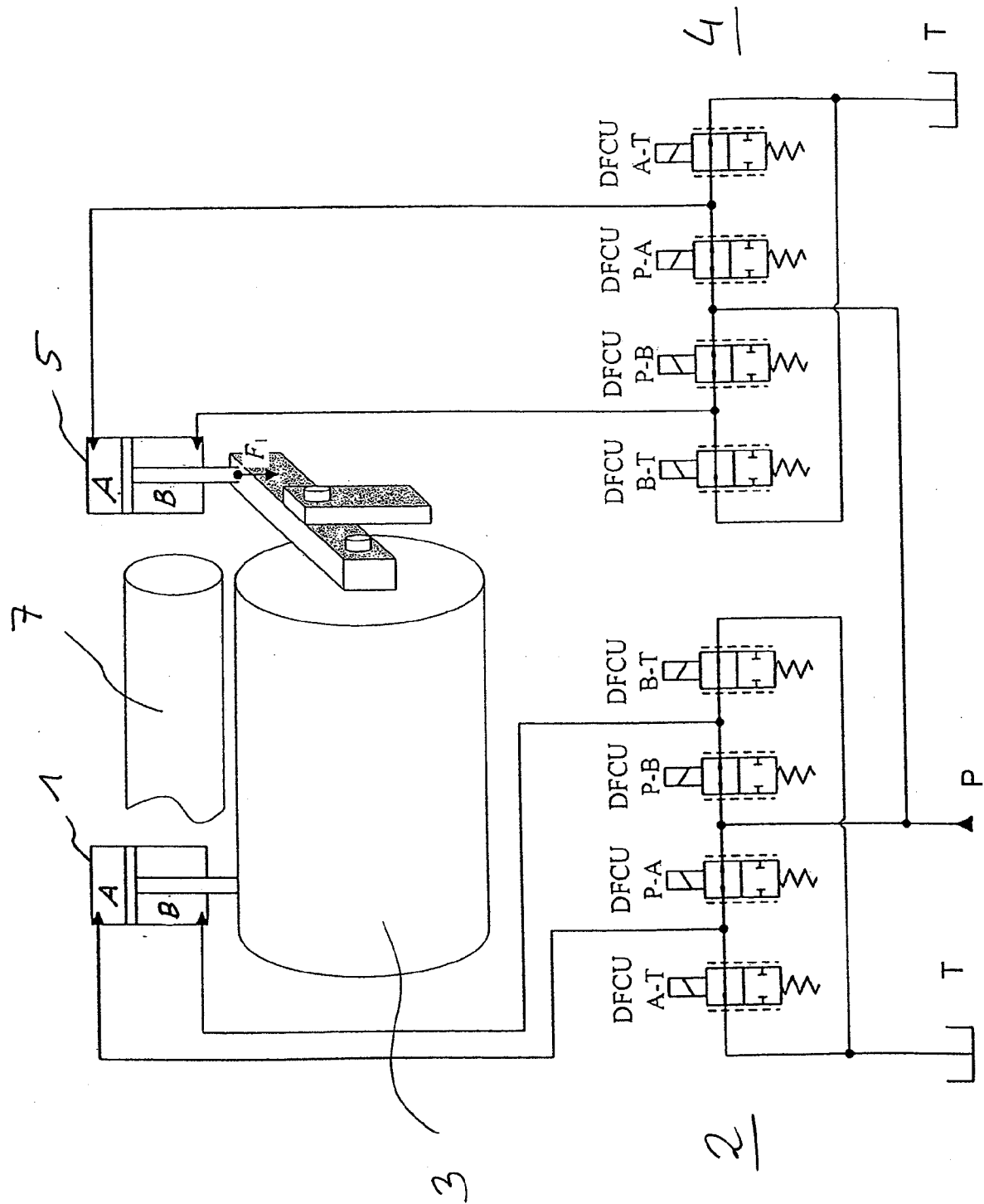


Fig. 2

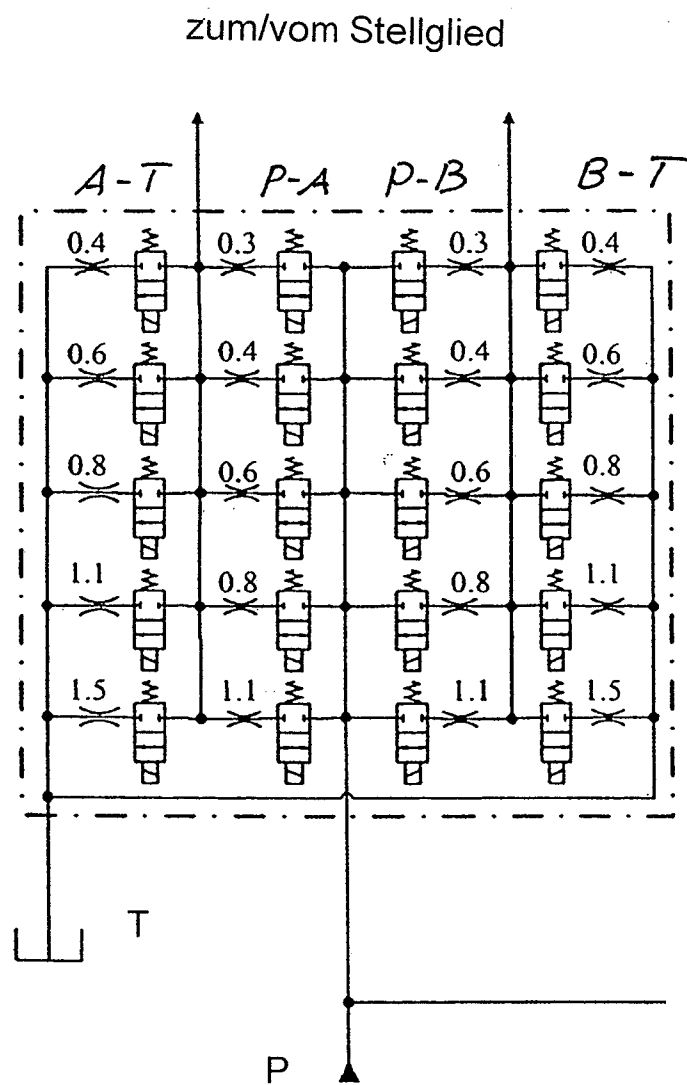
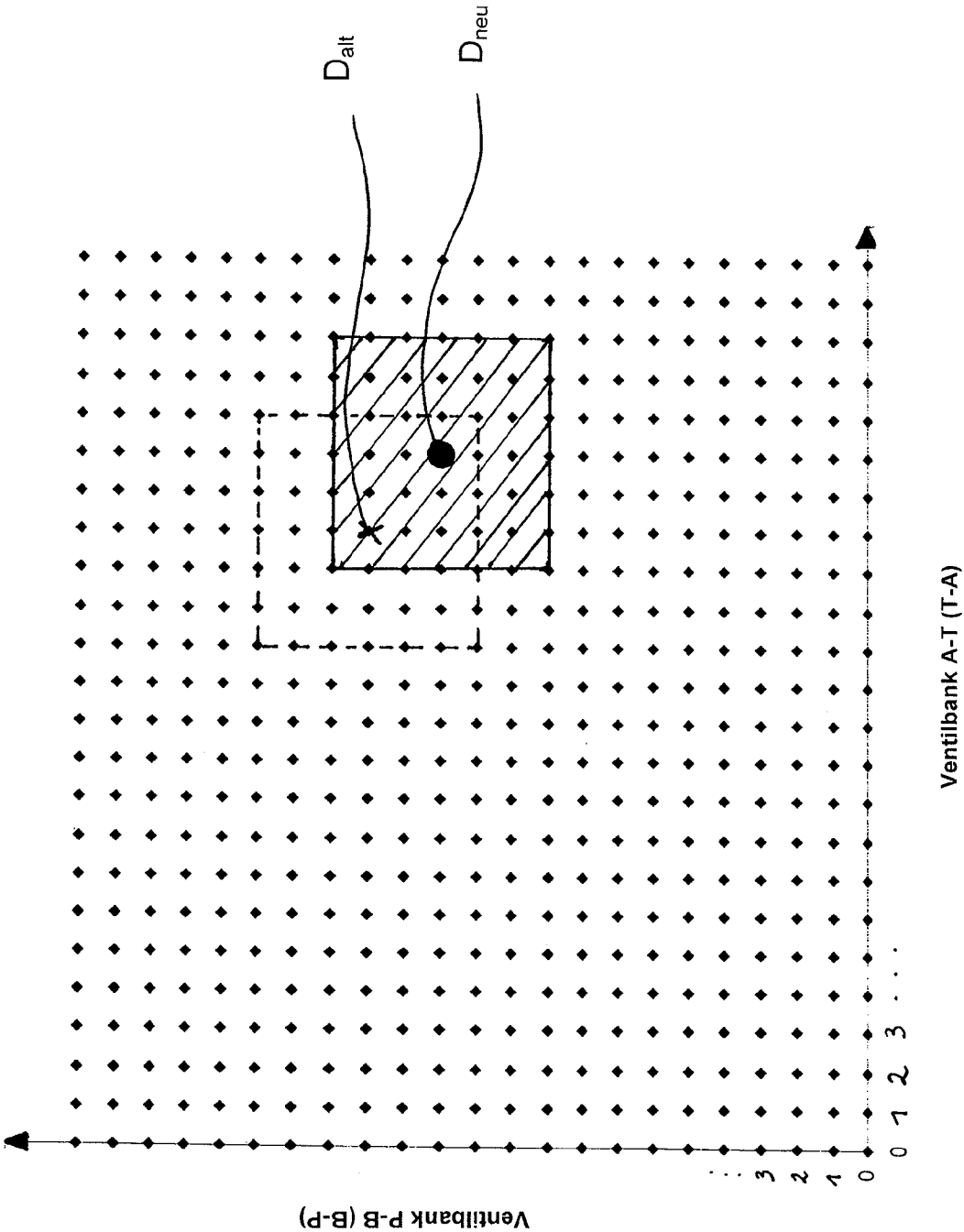


Fig. 3



Stand der Technik

