PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation [5]: **G05D 3/14, G05B 13/04, F15B 9/09, G05B 19/19**

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 94/27201

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 24. November 1994 (24.11.94)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP94/01530

(22) Internationales Anmeldedatum: 11. Mai 1994 (11.05.94)

(30) Prioritätsdaten:
P 43 15 626.6 11. Mai 1993 (11.05.93) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten ausser US)*: MANNESMANN REXROTH GMBH [DE/DE]; Postfach 340, D-97813 Lohr (DE).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: EWALD, Roland [DE/DE]; Äußere Bahn 6, D-97816 Lohr (DE). GRIMM, Andreas [DE/DE]; Grünwalder Strasse 5, D-81547 München (DE).

(74) Anwalt: WAGNER, Karl, H.; Wagner & Geyer, Gewürzmühlstrasse 5, D-80538 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: JP, US.

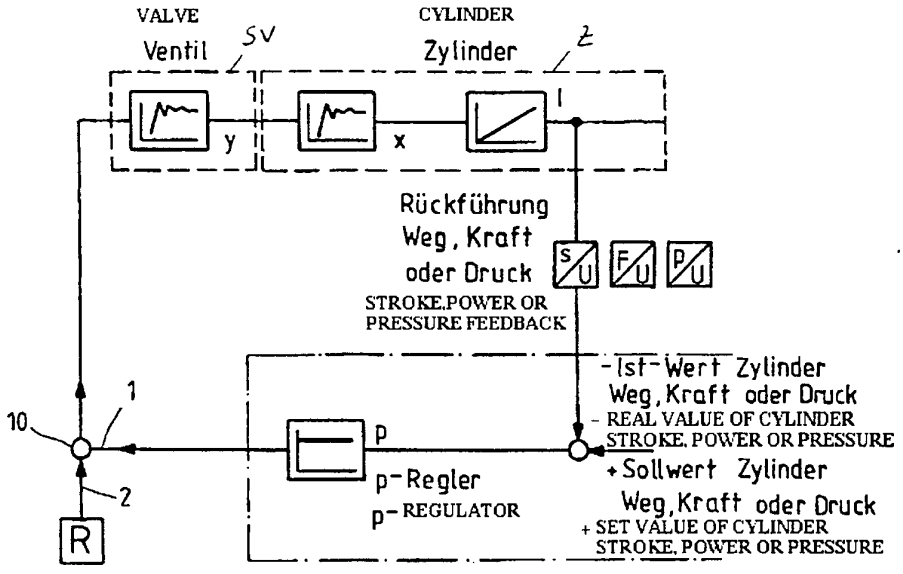
Veröffentlicht
Mit internationalem Recherchenbericht.
Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.

(54) Title: CONTROL FOR A HYDRAULIC DRIVE

(54) Bezeichnung: STEUERUNG FÜR EINEN HYDRAULISCHEN ANTRIEB

(57) Abstract

In a control for a drive pressurised by a working fluid, the working fluid flows through an eletrovalve which determines the amount of working fluid to be suplied to the drive. The electric signal which controls the valve is generated by a computer which continuously calculates a predetermined set value for the stroke, power or pressure of the drive. The calculation is based on at least one measured or simulated drive state quantity at the moment when the calculation is carried out and the calculated set value determines the intensity of an electric signal transmitted to the valve electric regulation arrangement. The speed of calculation of the computer which determines the set values is higher than the valve regulation speed.



(57) Zusammenfassung

Eine Steuerung für einen von einem Arbeitsfluid druckbeaufschlagten Antrieb, bei dem das Arbeitsfluid über ein elektrisch angesteuertes Ventil zur Festlegung der den Antrieb zuzuführenden Arbeitsfluidmenge geführt ist und das elektrische Signal zur Ansteuerung des Ventils von einer Recheneinrichtung ausgegeben ist, wobei in der Recheneinrichtung fortlaufend ein vorgegebener Sollwert für den Weg, die Kraft oder den Druck des Antriebes berechnet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Berechnung jeweils zumindest auf eine gemessene oder simulierte Zustandsgröße des Antriebes zum Zeitpunkt der Berechnung beruht und der berechnete Sollwert die Größe des an die elektrische Stelleinrichtung des Ventils weitergeleiteten elektrischen Signals bestimmt und die Rechengeschwindigkeit der Recheneinrichtung zur Festlegung des jeweiligen Sollwertes größer ist als die Stellgeschwindigkeit des Ventils.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	**GA**	Gabon	**MR**	Mauretanien
AU	Australien	**GB**	Vereinigtes Königreich	**MW**	Malawi
BB	Barbados	**GE**	Georgien	**NE**	Niger
BE	Belgien	**GN**	Guinea	**NL**	Niederlande
BF	Burkina Faso	**GR**	Griechenland	**NO**	Norwegen
BG	Bulgarien	**HU**	Ungarn	**NZ**	Neuseeland
BJ	Benin	**IE**	Irland	**PL**	Polen
BR	Brasilien	**IT**	Italien	**PT**	Portugal
BY	Belarus	**JP**	Japan	**RO**	Rumänien
CA	Kanada	**KE**	Kenya	**RU**	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	**KG**	Kirgisistan	**SD**	Sudan
CG	Kongo	**KP**	Demokratische Volksrepublik Korea	**SE**	Schweden
CH	Schweiz	**KR**	Republik Korea	**SI**	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	**KZ**	Kasachstan	**SK**	Slowakei
CM	Kamerun	**LI**	Liechtenstein	**SN**	Senegal
CN	China	**LK**	Sri Lanka	**TD**	Tschad
CS	Tschechoslowakei	**LU**	Luxemburg	**TG**	Togo
CZ	Tschechische Republik	**LV**	Lettland	**TJ**	Tadschikistan
DE	Deutschland	**MC**	Monaco	**TT**	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	**MD**	Republik Moldau	**UA**	Ukraine
ES	Spanien	**MG**	Madagaskar	**US**	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	**ML**	Mali	**UZ**	Usbekistan
FR	Frankreich	**MN**	Mongolei	**VN**	Vietnam

Steuerung für einen hydraulischen Antrieb

Die Erfindung betrifft eine Steuerung für einen hydraulischen Antrieb nach dem Oberbegriff des Anspruches 1.

Bei diesen bekannten Steuerungen wird die für die Regelung maßgebende Signalgröße über die Zeit nach dem Iterationsprinzip ermittelt und demgemäß so oft nachkorrigiert bis der Antrieb den gewünschten Sollwertverlauf durchführt. Diese bekannten Steuerungen sind praktisch nur für in einer kurzen Zeitspanne sich abspielende Steuerprogramme wegen der zeitaufwendigen empirischen Ermittlung des Sollwertverlaufes der Ventilöffnung einzusetzen. Für Antriebe mit einem längeren Bewegungsablauf werden deshalb Regeleinrichtungen eingesetzt, deren wesentliches Merkmal im Vergleich von Soll- und Istwert gleicher Zustandsgrößen wie Lage, Geschwindigkeit, Kraft oder Druck besteht. Um die Abweichung vom Soll- und Istwert (Amplitudenabfall und Phasennacheilung) möglichst gering zu halten, werden über Rechner dem Sollwert zusätzliche den Antrieb beeinflußende Größen aufsummiert. Für die Berechnung des zu korrigierenden Sollwertes wird die Frequenzanalyse angewandt.

Bei einem bekannten Regelverfahren wird bei der Berechnung des korrigierten Sollwertes für jede Regelachse (d.h. jeden Antrieb) die Frequenzanalyse angewandt. In einem Vorversuch (Identifikation) wird der Frequenzgang und damit das Übertragungsverhalten jeder servohydraulischen Regelachse bestimmt. Anschließend wird für die nachzufahrende Sollwertkurve ebenfalls eine Frequenzanalyse durchgeführt, um mit Hilfe des im Identifikationslaufes gewonnenen Übertragungsverhaltens die richtigen Sollwerte für die servohydraulischen Regelachsen berechnen zu können.

Die Berechnung des korrigierten Sollwertes muß dabei vor dem eigentlichen Versuchsdurchlauf erfolgen, wobei das gemessene Übertragungsverhalten und der daraus berechnete korrigierte Sollwert im digitalen Rechner abgespeichert werden.

Bei dem mathematischen Rechenprozeß für die Ermittlung des korrigierten Regelkreissollwertes ist zu beachten, daß die bei der Identifikation gewonnene Systemmatrix nicht direkt anwendbar ist. Es ist erforderlich, daß die Systemmatrix invertiert wird und die Sollwertkurve in den Frequenzbereich transformiert wird. Erst nach der mathematischen Berechnung im Frequenzbereich kann das berechnete Sollwertsignal in den Zeitbereich zurückgeführt werden. Die Berechnungsprogramme sind nur für ein bestimmtes Zeitfenster anwendbar.

Eine zeitliche längere Sollwertkurve muß deshalb in entsprechende zeitliche Einzelschritte zerlegt werden. Eine Übereinstimmung zwischen Soll- und Istwert ist nach der ersten Sollwertberechnung nicht zu erwarten. Eine bessere Annäherung wird durch weitere Berechnungsgänge für den korrigierten Sollwert erzielt. Dabei wird als Referenz für den Soll-Istwertvergleich auf den Istwertverlauf des letztgefahrenen Versuches zurückgegriffen.

Mit diesen bekannten Regel- und Berechnungsverfahren lassen sich zufriedenstellende Ergebnisse erreichen, wenn z.B. für eine Wegregelung (Zylinderantrieb), bei der die Geschwindigkeitsanteile einen dominanten Anteil haben und sich der Lastdruck nur in kleineren Bereichen ändert, die Anteile der Ölkompression durch geringe dynamische Kraft- und Laständerungen am Verbraucher prozentual klein sind und die Lastdruckänderungen für den gesamten Frequenzbereich der Strecken-Identifikation als auch im gesamten Frequenzbereich der vorgegebenen Sollwertkurve identisch sind.

Für Regelungen, bei denen die Kraft- und damit Druckänderungen dynamisch sehr schnell erfolgen, oder bei Regelungen mit höherer Dynamik und damit höherem dynamischen Massenanteil, liefert dieses bekannte Regel- und Berechnungsverfahren nur noch bedingt brauchbare Ergebnisse, da kein linearer Zusammenhang zwischen Durchflußmenge und Ventilöffnung besteht und die Anteile der Ölkompression hier einen dominanten Einfluß haben können. Die

richtige mathematische Bewertung der Anteile der Ölkompression wird bei Zylinderantrieben dadurch erschwert, daß zu jedem Zeitpunkt auch das zugehörige zu komprimierende Ölvolumen und damit die Stellung der Zylinderkolbenstange in die Berechnung eingesetzt werden muß.

Bei außermittiger Kolbenstellung ergeben die damit verbundenen unterschiedlichen Ölmengen in den Zylinderräumen und unterschiedliche Leitungsvoluminas zwischen Ventil und Zylinder an den Steuerkanten an dem Servo- bzw. Steuerventil unterschiedliche Durchflußwerte. Für die Berechnung der richtigen Ventilöffnung muß auch der aktuelle Druckabfall an den Steuerkanten eingesetzt werden.

Dies gilt auch bei zustandsgeregelten Antriebssystemen entsprechend dem Aufsatz "Automatisierte Inbetriebnahme zustandsgeregelter Antriebssysteme" von Günter Pritschow und Rainer Hagl, in Ölhydraulik und Pneumatik 34 (1990) Nr. 8. S. 544 bis 547 sowie bei digitalen, nichtlinearen Regelungen und Identifikationsverfahren gemäß dem Aufsatz "Digitale, nichtlineare Regelungen und Identifikationsverfahren für elekrohydraulische Vorschubantriebe" von M. Egner und G. Keuper, in Ölhydraulik und Pneumatik 29 (1985) Nr. 9, S. 669 bis 677. Mit diesen Regelungen läßt sich gegenüber einfachen Reglern der Nachlauffehler verringern. Ganz ausschalten insbesondere bei hohen und schnellen Last- und Geschwindigkeitsänderungen läßt sich der Regelfehler nicht.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, die Ansteuerung von hydraulischen Antrieben nach einem vorgegebenen Sollwertverlauf zu verbessern, bei der zeitaufwendige Optimierungsläufe mit mehreren Versuchsdurchläufen unterbleiben können und der Istwertverlauf dem Sollwertverlauf für die Bewegung des hydraulischen Antriebes weitgehend entspricht. Dies wird mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruches 1 erreicht.

Anstelle gemessener Zustandsgrößen simulierte Zustandsgrößen für die fortlaufende Berechnung des Ventilsollwertes zu verwenden,

hat den Vorteil, daß auf Sensoren zur meßtechnischen Erfassung der Zustandsgrößen verzichtet werden kann. Vorteilhaft erweist es sich, wenn die simulierten Zustandsgrößen parallel zu den gemessenen Zustandsgrößen laufen (d.h. zeitgleich zur Verfügung stehen bzw. berechnet werden), so daß bei Ausfall eines Sensors oder bei Überschreitung eines vorgegebenen Grenzwertes (Bandbreite) für die gemessenen Zustandsgrößen, das auf eine Störung der Steuerung schließen läßt, auf die betreffenden simulierten Zustandsgrößen für die Sollwertberechnung zurückzugreifen ist.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen sowie aus der Beschreibung eines Ausführungsbeispiels.

Durch die zeitlich vorausschauende Sollwertberechnung für die Bewegung des Antriebes tritt ein Nachlauffehler überhaupt nicht auf. Die ständige Einbindung der aktuellen Betriebszustände des Antriebssystems in die fortlaufende Sollwertberechnung berücksichtigt die physikalischen Einflüsse der Ölkompression und der nicht linearen Lastdruckabhängigkeit mathematisch exakt.

Ferner werden bei der Ventil-Sollwertberechnung auch die für einen exakten Beschleunigungs- bzw. Kraft- oder Druckverlauf so wichtigen Einflüsse wie plötzliche Lastdruckänderungen an den Steuerkanten bei Nulldurchgang des 4-Wege-Regelventils, lastdruckabhängige Null-Leckage (d.h. insbesondere Mittelstellung des Ventils) des Servoventils sowie lastdruckabhängige Leckage hydrostatisch gelagerter Servozylinder berücksichtigt.

Bei ein- und mehrachsigen Regelkreisen werden die auf die servohydraulische Regelachse einwirkenden dynamischen Kräfte oder auch Drücke vorausschauend On-Line berechnet. Bei mehrachsigen Systemen wird die Kraftverkoppelung der Achsen untereinander durch einen Kinematik- oder Geometrierechner ermittelt. Die dynamischen Kräfte oder auch Drücke jeder servohydraulischen Achse werden bei der Ventil-Sollwertberechnung mathematisch berücksichtigt. Der Lastdruck und äußere Kräfte werden in jedem Re-

chenschritt meßtechnisch bestimmt und bei der Sollwertberechnung ständig berücksichtigt. Für einen weiteren Frequenzbereich ergeben sich dadurch konvergierende Lösungen.

Der zusätzliche Lage-, Kraft bzw. Druckregelkreis hat nur die Aufgabe, den Zylinder wegmäßig bzw. kraft- oder druckmäßig zu fesseln, wenn Fehler - auch Langzeitfehler - in der Ventil-Sollwertberechnung vorliegen würden (nicht aktiv bei richtiger Sollwertberechnung).

In der Zeichnung veranschaulicht

Figur 1 den Schaltplan einer erfindungsgemäßen Steuerung für einen Hydrozylinder mit durchgehender Kolbenstange,

Figur 2 die schematische Darstellung eines als Hydrozylinder mit durchgehender Kolbenstange ausgebildeten hydraulischen Antriebs und

Figur 3 ein Diagramm des Sollwertverlaufs einer Beschleunigungskurve eines hydraulischen Antriebs nach den Figuren 1 und 2.

Gemäß Figuren 1 und 2 wird in einem Rechner R beispielsweise einem Transputer aus dem vorgegebenen Sollwertverlauf der Beschleunigung, Kraft bzw. Druck des Zylinders (allgemein eines Antriebs oder Aktuators) ständig der Sollwert für die Aktuator- oder Zylindergeschwindigkeit, der Sollwert für den Aktuator- oder Zylinderweg sowie die auf den Aktuator oder Zylinder Z einwirkenden dynamischen Kräfte, die sich aus dem Sollwertverlauf der Beschleunigung, Kraft bzw. Druck und den zugehörigen Massen des Antriebes ergeben, berechnet.

Ferner erfolgt eine ständige Berechnung der aktuellen Druckdifferenz (Kraftdifferenz) am Zylinder Z oder Ölmotor auf der Grundlage der gemessenen oder simulierten Zylinderkammerdrücke PA und PB in den Zylinderräumen AA, AB und eine ständige Berechnung der aktuellen Steuerkantendruckabfälle $\Delta P1$ und $\Delta P2$ am Ser-

voventil SV auf der Grundlage der gemessenen oder simulierten Zylinderkammerdrücke PA und PB und des Systemdruckes PS und Tankdruckes PT - Doppelfunktion der gemessenen Zylinderkammerdrücke -. Das Messen bzw. die Simulation der Zylinderkammerdrücke PA und PB ist für die Lastdruckermittlung und des Druckabfalls an den Steuerkanten des Ventils SV erforderlich. Das Messen bzw. die Simulation des Systemdruckes PS und des Tankdruckes PT ist nur erforderlich, wenn diese Zustandsgrößen nicht konstant sind. Ständig gemessen werden auch die Istwerte vom Zylinderweg S bzw. von der Kraft F oder dem Druck P und der Beschleunigung am bzw. im Arbeitszylinder.

Aus den vorliegenden Soll- und Istwerten wird unter Berücksichtigung des Übertragungsverhaltens (Übertragungsfunktion) des zu steuernden Systems ständig ein Ventilsollwert berechnet, der am Eingang 2 eines Summiergliedes 10 eingespeist wird. Bei dem zu steuernden System kann es sich z.B. um eine "Servohydraulische Asche" handeln. Die Berechnung des Ventilsollwertes wird nach bekannten mathematischen und physikalischen Zusammenhängen unter Einbeziehung der stets aktuellen, gemessenen oder simulierten Systemdaten der servohydraulischen Achse für die fortlaufende Soll- und Istkurve (d.h. für die zeitlich veränderlichen Soll- und Ist-Werte) on-line ständig durchgeführt.

Bei der Berechnung jedes Ventilsollwertes werden berücksichtigt:

Die aktuellen gemessenen oder simulierten Kammerdrücke PA, PB, PS und PT,

der aktuell gemessene Zylinderweg S bzw. die aktuell gemessene Kraft F oder der Druck P am bzw. im Arbeitszylinder Z,

die erforderlichen Durchflußmengen für die Sollgeschwindigkeit und für die erforderliche Ölkompression,

der Einfluß einer SteuerkantenΔp-Änderung im Nulldurchgang des 4-Wege-Servoventils SV,

der Einfluß des Nulldurchflusses (hervorgerufen durch positive oder negative Überdeckung des Steuerkolbens) des 4-Wege-Servoventils in Abhängigkeit der Lastdruckdifferenz aus PA und PB,

der Einfluß der inneren und äußeren Leckagen hydrostatisch-gelagerter Servozylinder als Funktion bzw. in Abhängigkeit der Lastdruckdifferenzen und aktuellen Kammerdrücke,

der Einfluß der Ventildynamik und der Dynamik der Regelstrecke (des zu steuernden Systems),

sowie die stets aktuellen, statischen Kräfte und dynamischen Massenkräfte, die auf den Zylinder Z einwirken. Dabei werden aus den Messungen oder Simulationen der aktuellen Kammerdrücke PA und PB ständig die statischen Last- und Kraftdruckdifferenzen ermittelt, wie sie insbesondere durch äußere statische Kräfte verursacht sind,

der dynamische Massenanteil (bewegte Masse) wird mittels einer Parameterbestimmung durch Messung oder Simulation der Kammerdrücke und der Istbeschleunigung ermittelt,

die Zeitverzögerung am Servoventil SV und der Meßsignale wird durch Vorausberechnung der Ventil-Sollwerte und rechtzeitige Ausgabe kompensiert.

Da es sich im vorliegenden Fall um eine On-Line-Berechnung handelt, muß sichergestellt sein, daß für den Meßzeitpunkt 1 (0 ms) nach Figur 3 der dem Beschleunigungs-, Kraft oder Druck-Sollwert des Zylinders zugeordnete Ventilsollwert für den Zeitpunkt 2 berechnet und zu diesem Zeitpunkt dem Steuersystem nach Figur 1 dem Summierglied 10 zugeführt wird. Die Ausgabe des Ventilsollwertes für den Zeitpunkt 2 muß zeitlich im Bereich vor der Zeitkonstante Ts des Gesamtsystems (d.h. das gesamte insbesondere aus Steuerung, Antrieb, Ventil, Sensorik, Meßtechnik bestehenden Systems) liegen. Um die Sollwertkurve mit genügender Genauigkeit berechnen zu können, wird diese in n-Einzelschritte unterteilt, d.h., im Zeitbereich TS, der der Zeitkonstante entspricht, er-

folgen nach Figur 3 vier Sollwertberechnungen auf der Grundlage der entsprechenden Meß- oder Simulationswerte, also außer der Sollwertberechnung für den Zeitpunkt 2 noch drei weitere Sollwertberechnungen für die Zeitpunkte A, B und C auf der Grundlage entsprechender Meß- oder Simulationswerte a, b, c, wobei für diese Zwischen-Rechenschritte insbesondere die Festwerte zugrunde gelegt werden wie sie für den Sollwert für Punkt 2 festgelegt sind. Die Rechengenauigkeit wird noch weiter erhöht, wenn der Sollwertverlauf (d.h. die Sollwerte als Funktion der Zeit) nach der Zeit TS, also nach Zeitpunkt 2 bzw. 3 durch weitere Rechenschritte TS, mit Unterteilung n in die mathematische Berechnung für den Sollwert zum Zeitpunkt 2 mit einbezogen wird. Für die Berechnung des Sollwertes 2 auf der Grundlage des Meß- bzw. Simulationswertes 1 werden die Daten des Sollwertes 3 mit einbezogen. Für die Genauigkeit des zu erwartenden Ergebnisses ist es erforderlich, daß die Rechenzeit kurz und konstant ist. Deshalb werden die Rechenoperationen der n-Teilschritte zeitlich parallel, durch Einsatz von parallelarbeitenden Transputern oder schnellen Rechnern, durchgeführt. Die Gesamtrechenzeit für einen auszugebenden Ventilsollwert liegt unter 1 ms. Es ist also insbesondere möglich, das Regelungsergebnis durch feinere Unterteilung der Ventilsollwertberechnung zu erhöhen, wobei auch Berechnungsergebnisse aus vorausgegangenen Berechnungen berücksichtigt werden können.

Im Wege-, Kraft- oder Druckregelkreis nach Figur 1 wird der gemessene Wege-, Kraft- oder Druck-Istwert des Zylinders mit dem bereits um die Zeitkonstante des Regelsystems vorher berechneten Wege-, Kraft- oder Druck-Sollwert eingelesen und verglichen. Der Wege-, Kraft- oder Druck-Sollwert wird zwischenzeitlich in einem Ringspeicher festgehalten. Bei richtig berechnetem Ventilsollwert 2 wird am Reglerausgang 1 kein Signal anstehen (Figur 1). Der Wege-Regelkreis hat nur die Aufgabe, Langzeitfehler auszugleichen, d.h., lagemäßige Fesselung des Zylinders. Das gleiche gilt, wenn die Steuerung für einen Kraft- oder Druckverlauf eines Hydrozylinders oder Hydromotors bestimmt ist. In diesem Fall wird einem Kraft- oder Druckregelkreis die gemessene Ist-

kraft bzw. der gemessene Ist-Druck zugeführt und dort mit den eingegebenen berechneten Sollwerten von Kraft- bzw. Druck verglichen.

Die Genauigkeit des Ergebnisses wird zusätzlich On-Line durch ständige Überprüfung der Parameter für die Sollwertberechnung verbessert. Bei Soll-Istwertdifferenzen wird in den Rechenalgorithmus (d.h. den Allgorithmus zur Ventilsollwertberechnung) so eingegriffen, daß für nachfolgende Ventilsollwertberechnungen sich eine kleinere Soll-Istwertabweichung ergibt. Diese Korrektur der Parameter wird solange fortgesetzt, bis der Fehler in einem zugelassenen Fehlerfenster liegt.

Patentansprüche

1. Steuerung eines von einem Arbeitsfluid druckbeaufschlagten Antriebes, wobei das Arbeitsfluid über ein elektrisch angesteuertes Ventil zur Festlegung der den Antrieb zuzuführenden Arbeitsfluidmenge zugeführt wird (d.h. dem Ventil wird ein elektrisches Signal zugeführt, welches die Arbeitsfluidmenge definiert) und das elektrische Signal zur Ansteuerung des Ventils von einer Recheneinrichtung ausgegeben wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine Rechenvorrichtung (R) hoher Rechengeschwindigkeit vorgesehen ist, in der fortlaufend aus einem vorgegebenen Sollwertverlauf für die Bewegung oder für die Kraft bzw. für den Druck des Antriebes (Z) ein Ventilsollwert berechnet wird, daß die Berechnung jeweils (d.h. pro Ventilsollwert) zumindest auf eine gemessene oder simulierte Zustandsgröße des Antriebes zum Zeitpunkt der Berechnung beruht und daß der berechnete Ventilsollwert an das Ventil (SV) als elektrisches Signal weitergeleitet wird.

2. Steuerung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die simulierten Zustandsgrößen parallel zu den gemessenen Zustandsgrößen laufen und bei Ausfall eines Sensors (für die Zustandsgrößen) oder bei Überschreitung eines vorgegebenen Grenzwertes (Bandbreite) für die gemessenen Zustandsgrößen auf die betreffenden simulierten Zustandsgrößen für die Ventilsollwertberechnung zurückgegriffen wird.

3. Steuerung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Zustandsgröße zumindest der zwischen Ventil und Arbeitsraum des Antriebs herrschende Druck (PA, PB) des dem Antrieb zugeführten Arbeitsfluids zur Berechnung des jeweiligen Ventilsollwertes zugrunde gelegt wird.

4. Steuerung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Druckdifferenz des Arbeitsfluids zwischen Zu- und Rückfluß am Antrieb als Zustandgröße die Grundlage zur Berechnung des jeweiligen Ventilsollwertes bildet.

5. Steuerung nach einem der vorheringen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die am Ventil auftretenden Druckdifferenzen ($\Delta P1, \Delta P2$) als Zustandsgrößen die Grundlage der Berechnung für den jeweiligen Sollwert bildet.

6. Steuerung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß zu den gemessenen oder simulierten Zustandsgrößen weitere Druckwerte für den Zeitraum der Zeitkonstante des Systems (d.h. des gesamten insbesondere aus Steuerung, Antrieb, Ventil, Sensorik, Meßtechnik bestehenden Systems) berechnet und den gemessenen oder simulierten Werten aufaddiert werden.

7. Steuerung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das dem Ventil (SV) zugeführte elektrische Signal über ein Summierglied (10) geführt ist, dem über einen zweiten Eingang (1)das Ausgangssignal eines den Antrieb einbindenden Wege-, Kraft- oder Druckregelkreises zugeführt wird.

8. Steuerung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bewegung des Antriebes als Beschleunigungs-, Geschwindigkeits-, Kraft-, Druck- oder Wegverlauf als Sollwert vorgegeben ist.

9. Steuerung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Beschleunigungs-, Kraft- oder Druckverlauf über die Zeitkonstante des Systems (TS) die Ventilöffnung des Ventils (SV) bei gegebener am Öffnungsquerschnitt vorherrschender Druckdifferenz zur Erzielung der daraus sich ergebenden Sollgeschwindigkeit des Antriebes entsprechenden Arbeitsfluidmenge bestimmt.

10. Steuerung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Beschleunigungs-, Kraft- oder Druckänderungen die daraus sich ergebenden Kompressionsmengen sowie die infolge der am Antrieb auftretenden vom Druck in den Arbeitskammern (AA, AB) des Antriebes abhängigen Leckagedurchflußmengen in die Berechnung für die Ventilöffnung mit einbezogen werden.

11. Steuerung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß in die Berechnung die Ventildurchflußkennlinie und das Übertragungsverhalten des Ventils einbezogen wird.

12. Steuerung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß aus dem Beschleunigungs-, oder Geschwindigkeitssollwert der Lage-Sollwert des Antriebes berechnet wird und in einem Ringspeicher mindestens entsprechend der Zeitkonstante des Systems gespeichert wird, bevor der Lage-Sollwert einem Regelkreis zugeführt wird und das Ausgangssignal des Regelkreises zur Korrektur über ein Summierglied dem zweiten Sollwerteingang zugeführt wird.

13. Steuerung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Wege-, Kraft- oder Druck-Sollwert des Antriebes berechnet wird und in einem Ringspeicher mindestens entsprechend der Zeitkonstante (TS) des Systems gespeichert wird, bevor der Wege-, Kraft-, oder Druck-Sollwert einem Regelkreis zugeführt wird und das Ausgangssignal (1) des Regelkreises zur Korrektur über ein Summierglied (10) einem weiteren Sollwerteingang (2) zugeführt wird.

14. Steuerung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Antrieb aus einem oder mehreren hydraulischen Antrieben (Z) besteht.

15. Steuerung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Antrieb von mehreren Arbeitszylindern oder Arbeitsmotoren gebildet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß für jeden Arbeitszylinder getrennt dessen für die Sollwertberechnung erforderlichen Zustandsgrößen und Parameter aus einer räumlichen Bewegungsgeometrie berechnet werden.

16. Steuerung nach einem der vorhergenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Arbeitsfluid aus Hydrauliköl besteht.

17. Steuerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die dem Ventil zugeführten Sollwertsi-

gnale digital berechnet sind und über einen D/A-Wandler als Stellsignale dem Ventil zugeführt werden.

18. Steuerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die analog aufgenommenen Drucksignale dem Rechner in digital umgewandelte Signale zugeführt werden.

19. Steuerung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rechenzeit für die einzelnen Sollwertabschnitte des Sollwertkurvenverlaufes konstant ist.

20. Steuerung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rechenoperationen von parallel geschalteten Rechnern (R) durchgeführt werden.

21. Steuerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Auftreten einer Soll-Istwertdifferenz des Wege-, Kraft- oder Druckregelkreises über einen zugelassenen Wert, diese über mehrere Sollwertabschnitte hinweg verteilt wieder auf den zugelassenen Wert zurückgeführt bzw. der Fehler verringert wird.

22. Steuerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Berechnung des vom Rechner (R) ermittelten dem Sollwert des Zylinders zugeordneten Ventilsollwertes auf einem gemessenen oder simulierten Wert beruht, der zeitlich um den Betrag der Zeitkonstante (TS) des Steuersystems zurückliegt.

23. Steuerung nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Zeitbereich der Zeitkonstante (TS) des Steuersystems mehrere gleiche Zeitabstände (n) aufweisende Rechenschritte (A, B, C) auf der Grundlage der jeweiligen gemessenen oder simulierten Werte (a, b, c) durchgeführt werden.

24. Steuerung nach den Ansprüchen 20 und 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Berechnung des Ventilsollwertes im Zeitkonstantentakt auch der Sollwertverlauf der Sollkurve des Antriebes mit einbezogen wird, der zeitlich außerhalb des Bereiches der

Zeitkonstante (TS) des Antriebes liegt, der für die Berechnung bestimmt ist, und zwar im Sinne einer Vorauseilung des Sollwertverlaufes.

25. Steuerung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das an das Ventil weitergeleitete elektrische Signal den Durchflußquerschnitt des Servoventils proportional verstellt.

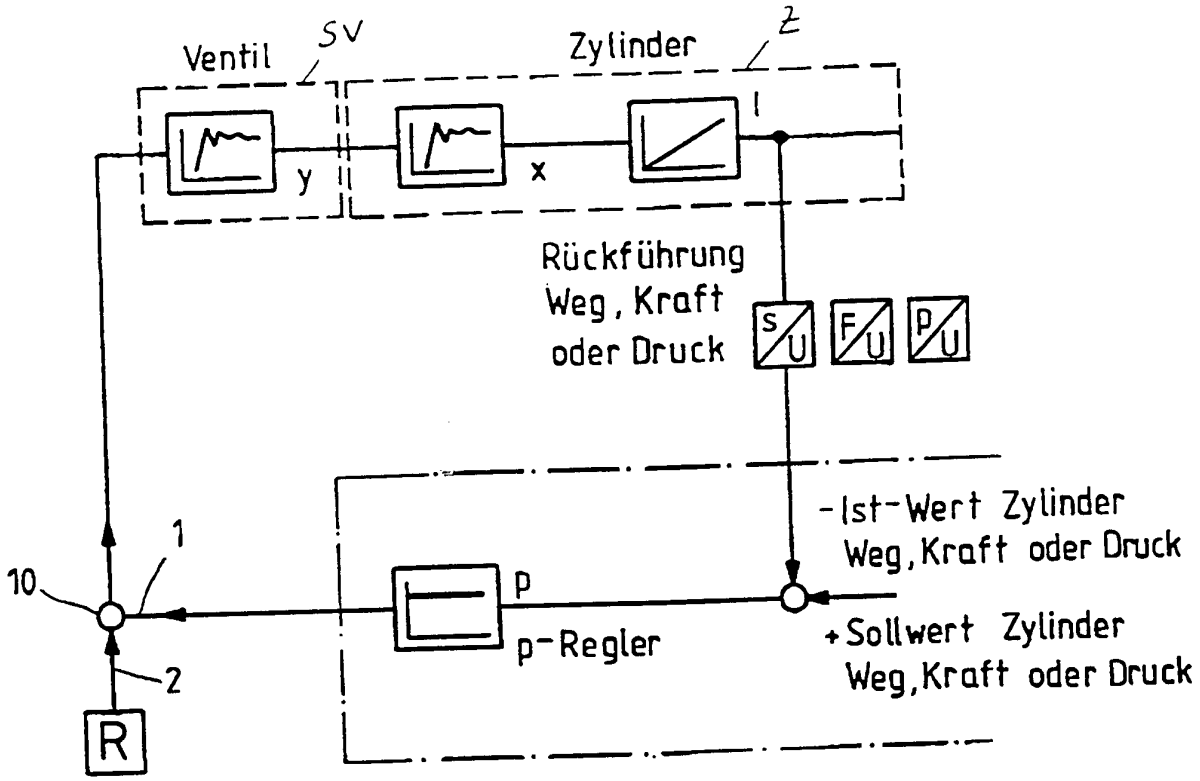

Ventil
SV
Zylinder
Z
y
x
1
Rückführung
Weg, Kraft
oder Druck
s/U
F/U
p/U
-Ist-Wert Zylinder
Weg, Kraft oder Druck
10
1
2
R
p
p-Regler
+Sollwert Zylinder
Weg, Kraft oder Druck

FIG.1

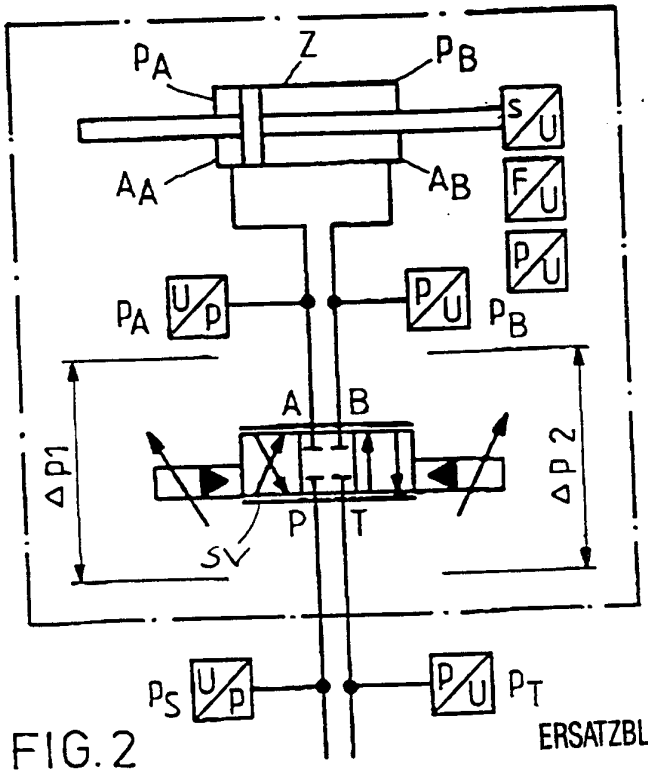

p_A
Z
p_B
s/U
F/U
p/U
A_A
A_B
p_A
U/p
p/U
p_B
A
B
Δp1
Δp2
P
T
SV
p_S
U/p
p/U
p_T
s = Weg
F = Kraft
p = Druck

FIG.2

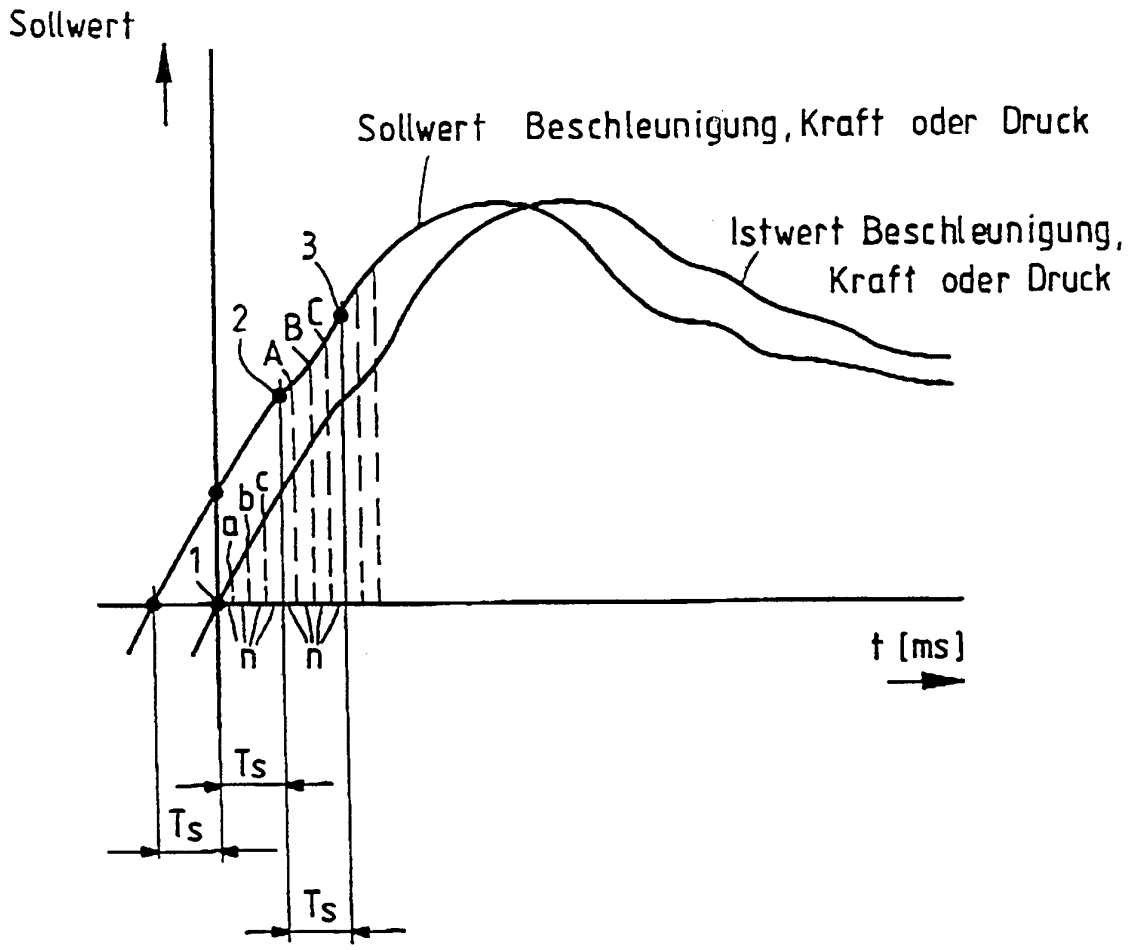

Sollwert
Sollwert Beschleunigung, Kraft oder Druck
Istwert Beschleunigung, Kraft oder Druck
1
2
3
A
B
C
a
b
c
n
n
t [ms]
Ts
Ts
Ts

FIG. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP 94/01530

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl.5 G05D3/14 G05B13/04 F15B9/09 G05B19/19

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl.5 F15B G05D G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB, A, 2 252 424 (DOWTY AEROSPACE GLOUCESTER LTD) 5 August 1992 * abstract; page 1, line 1 - page 3, line 19; page 6, line 5 - page 18, line 7; page 19, line 13 - page 27, line 7; page 30, line 15 - page 31, line 14; figures 1-6 *	1,3,16,22
A	REGELUNGSTECHNIK, Vol.32, No.9, September 1984, MUNICH, DE pages 309 - 316 A. FEUSER 'Entwurf von Zustandsreglern im Zeit-und Frequenzbereich für die Lageregelung eines ventilgesteuerten servohydraulischen Linearantriebes' * the whole document *	1-3,8,16

-/--

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
17 October 1994 (17.10.94)	28 October 1994 (28.10.94)
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP 94/01530

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ÖLHYDRAULIK UND PNEUMATIK , Vol. 99, No.9, September 1985, MAINZ, DE pages 669 -677 M. EGNER ET AL. 'Digitale, nichtlineare Regelungen und Identifikationsverfahren für elektrohydraulische Vorschubantriebe' cited in the application * the whole document *	1-3,8,16
A	EP, A, 0 070 957 (CARL SCHENCK AG) 9 February 1983 * the whole document *	1,3-5,8, 9,11,16
A	DE, A, 26 07 818 (BROWN, BOVERI & CIE AG) 1 September 1977 * page 5, line 8 - page 8, line 20; figures 1,2 *	1,3-5,8, 11,16
A	US, A, 4 617 637 (CHU ET AL.) 14 October 1986 * abstract; column 1, line 57 - column 3, line 28; column 3, line 53 - column 4,line 15; column 7, lines 13 - 61; column 9, line 22 - column 11, line 19; figures 1-4,7 *	8,21-24
A	GB, A, 2 111 253 (CARL SCHENCK AB) 29 June 1983 * the whole document *	1,3,4, 7-9,16
A	US, A, 4 902 947 (AKO) 20 February 1990 * abstract; column 1, lines 10 - 57; column 3, line 10 - column 4, line 34; figures 1,2 *	1,3,4
A	DE, A, 35 32 931 (MANNESMANN REXROTH GMBH) 16 April 1987 * the whole document *	1,7,8, 11,16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat l Application No
PCT/EP 94/01530

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
GB-A-2252424	05-08-92	US-A- 5268625	07-12-93
EP-A-0070957	09-02-83	DE-A- 3127910	27-01-83
		JP-A- 58018705	03-02-83
DE-A-2607818	01-09-77	NONE	
US-A-4617637	14-10-86	AU-B- 586376	06-07-89
		AU-A- 5998486	30-01-87
		CA-A- 1237507	31-05-88
		EP-A- 0229781	29-07-87
		WO-A- 8700319	15-01-87
GB-A-2111253	29-06-83	DE-A- 3149081	18-08-83
		JP-A- 58103009	18-06-83
US-A-4902947	20-02-90	JP-A- 1185709	25-07-89
DE-A-3532931	16-04-87	JP-A- 62067305	27-03-87
		US-A- 4901624	20-02-90

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internati es Aktenzeichen
PCT/EP 94/01530

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 5 G05D3/14 G05B13/04 F15B9/09 G05B19/19

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 5 F15B G05D G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	GB,A,2 252 424 (DOWTY AEROSPACE GLOUCESTER LTD) 5. August 1992 * Zusammenfassung; Seite 1, Zeile 1 - Seite 3, Zeile 19; Seite 6, Zeile 5 - Seite 18, Zeile 7; Seite 19, Zeile 13 - Seite 27, Zeile 7; Seite 30, Zeile 15 - Seite 31, Zeile 14; Figuren 1 - 6 * ---	1,3,16, 22
A	REGELUNGSTECHNIK, Bd.32, Nr.9, September 1984, MÜNCHEN, DE Seiten 309 - 316 A. FEUSER 'Entwurf von Zustandsreglern im Zeit- und Frequenzbereich für die Lageregelung eines ventilgesteuerten servohydraulischen Linearantriebes' * gesamtes Dokument * --- -/--	1-3,8,16

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

[X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
17. Oktober 1994	28. 10. 94

Name und Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016	Beitner, M

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	ÖLHYDRAULIK UND PNEUMATIK, Bd.29, Nr.9, September 1985, MAINZ, DE Seiten 669 - 677 M. EGNER ET AL. 'Digitale, nichtlineare Regelungen und Identifikationsverfahren für elektrohydraulische Vorschubantriebe' in der Anmeldung erwähnt * gesamtes Dokument * ---	1-3,8,16
A	EP,A,0 070 957 (CARL SCHENCK AG) 9. Februar 1983 * gesamtes Dokument * ---	1,3-5,8, 9,11,16
A	DE,A,26 07 818 (BROWN, BOVERI & CIE AG) 1. September 1977 * Seite 5, Zeile 8 - Seite 8, Zeile 20; Figuren 1, 2 * ---	1,3-5,8, 11,16
A	US,A,4 617 637 (CHU ET AL.) 14. Oktober 1986 * Zusammenfassung; Spalte 1, Zeile 57 - Spalte 3, Zeile 28; Spalte 3, Zeile 53 - Spalte 4, Zeile 15; Spalte 7, Zeilen 13 - 61; Spalte 9, Zeile 22 - Spalte 11, Zeile 19; Figuren 1-4, 7 * ---	8,21-24
A	GB,A,2 111 253 (CARL SCHENCK AB) 29. Juni 1983 * gesamtes Dokument * ---	1,3,4, 7-9,16
A	US,A,4 902 947 (AKO) 20. Februar 1990 * Zusammenfassung; Spalte 1, Zeilen 10 - 57; Spalte 3, Zeile 10 - Spalte 4, Zeile 34; Figuren 1, 2 * ---	1,3,4
A	DE,A,35 32 931 (MANNESMANN REXROTH GMBH) 16. April 1987 * gesamtes Dokument * -----	1,7,8, 11,16

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internat ...es Aktenzeichen
PCT/EP 94/01530

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
GB-A-2252424	05-08-92	US-A- 5268625	07-12-93
EP-A-0070957	09-02-83	DE-A- 3127910	27-01-83
		JP-A- 58018705	03-02-83
DE-A-2607818	01-09-77	KEINE	
US-A-4617637	14-10-86	AU-B- 586376	06-07-89
		AU-A- 5998486	30-01-87
		CA-A- 1237507	31-05-88
		EP-A- 0229781	29-07-87
		WO-A- 8700319	15-01-87
GB-A-2111253	29-06-83	DE-A- 3149081	18-08-83
		JP-A- 58103009	18-06-83
US-A-4902947	20-02-90	JP-A- 1185709	25-07-89
DE-A-3532931	16-04-87	JP-A- 62067305	27-03-87
		US-A- 4901624	20-02-90