

⑫ **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

⑳ Anmeldenummer: 86114902.9

⑤① Int. Cl. 4: **B63H 1/10**

㉔ Anmeldetag: 27.10.86

③① Priorität: 08.11.85 DE 3539617

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.05.87 Patentblatt 87/20

⑥④ Benannte Vertragsstaaten:
DE GB IT NL

⑦① Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft Berlin und München**
Wittelsbacherplatz 2
D-8000 München 2(DE)
 Anmelder: **J.M. Voith GmbH**
Sankt Pöltener Strasse 43
D-7920 Heidenheim(DE)

⑦② Erfinder: **Hochleitner, Josef, Dipl.-Ing.**
Breslauer Strasse 3
D-8522 Herzogenaurach(DE)
 Erfinder: **Gross, Harald, Dipl.-Ing.**
Aalweg 1
D-7922 Bolheim(DE)

⑦④ Vertreter: **Mehl, Ernst, Dipl.-Ing. et al**
Postfach 22 01 76
D-8000 München 22(DE)

⑤④ **Vorrichtung zur Steuerung eines Zykloidenpropellers für Wasserfahrzeuge.**

⑤⑦ Um den Steuerpunkt eines Zykloidenpropellers - (1) ("Voith-Schneider-Propellers") exakt und schnell verstellen zu können, sind hydraulische Stellzylinder (25y) mit elektrischen Proportionalventilen (26y) vorgesehen, deren Sollwert -vorzugsweise über einen unterlagerten Ventilstrom-Regelkreis und einen Ventilstellungs-Regelkreis -von einem Zylinderhub-Regelkreis geliefert wird. Die Fahrt- und Ruderbefehle werden mittels Hochlaufgebern, die die Verstellgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Belastung und der Fahrtrichtung begrenzen, nach geeigneten Kennlinien in Steuergrößen umgewandelt, die von Schiffskoordinaten auf Stellglied-Koordinaten transformiert und nach dem Lehrsatz des Pythagoras in die Sollwerte für die Zylinderhübe umgerechnet werden.

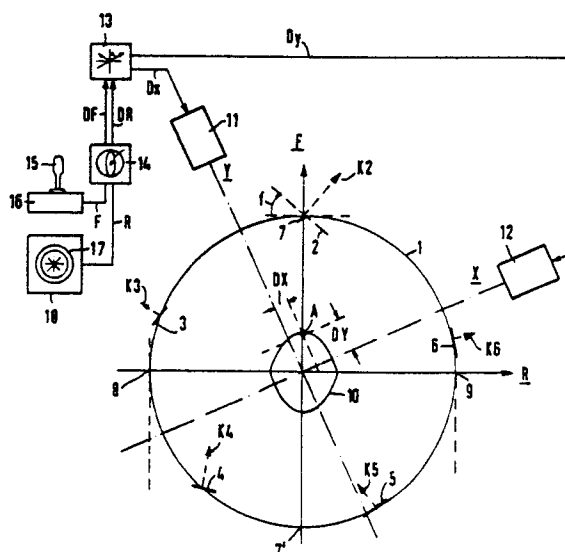


FIG. 1

Vorrichtung zur Steuerung eines Zykloidenpropellers für Wasserfahrzeuge

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Steuerung eines Zykloidenpropellers für Wasserfahrzeuge mit den im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Merkmalen.

Um Fährschiffe, Schwimmkrane, Fahrgastschiffe, Tonnenleger, Schleppfahrzeuge oder andere Wasserfahrzeuge exakt auf engstem Raum manövrieren oder exakt auf der Stelle halten zu können, werden sie vorteilhaft mit mehreren Zykloidenpropellern ("Voith-Schneider-Propeller") ausgestattet. Dies sind aus dem Schiffsboden herausragende, jeweils um eine annähernd vertikale Achse rotierende Flügelräder, an deren Radumfang jeweils um ebenfalls annähernd vertikale Achsen schwingende Flügel angeordnet sind. Aus der deutschen Patentschrift 2 029 995 ist eine Steuerung dieser Flügel bekannt, deren Prinzip in Figur 1 dargestellt ist.

Auf einem Flügelrad 1 sind drei bis maximal sieben Schwenkflügel 2 bis 6 angeordnet, die gegenüber der Radtangente um einen Winkel verschwenkt werden, der bei einer ganzen Umdrehung des Flügelrades zwischen einem maximalen positiven und maximalen negativen Winkelwert (der sogenannten "Steigung") verändert wird. Das Flügelrad ist mit seiner Drehachse vertikal am Boden des Schiffes angeordnet, so daß das Wasser auf die Schwenkflügel die Kräfte K_2 - K_6 ausübt. Die Vektoraddition dieser Kräfte ergibt eine resultierende Kraft und wächst mit wachsendem Maximalwinkel, den die Schwenkflügel gegenüber der Radtangente bei einem Umlauf annehmen.

Sind mit $\underline{E}$ eine in Längsrichtung des Schiffes zeigende Achse und mit 7,7' die Schnittpunkte dieser Achse mit dem Kreis 1 bezeichnet, so wird der Winkel f der Schwenkflügel in den Punkten 7,7' oder ein anderes geeignetes Maß für diesen Winkel "Fahrtsteigung" genannt und bewirkt einen Schub, der das Schiff in Richtung der Längsachse F (Fahrtachse) bewegt.

Wird abweichend von der in Fig. 1 gezeigten Stellung den Schwenkflügeln auch eine "Rudersteigung" vorgegeben, die beim Passieren der Punkte 8 und 9 die Winkelstellung der Schwenkflügel gegenüber der Radtangente bestimmt, so tritt auch eine Kraftkomponente in Richtung der "Ruderachse" $\underline{R}$ auf.

Um die Stellung der Schwenkflügel einzustellen, ist in dem Flügelrad-Getriebe ein sogenannter "Steuerpunkt" A verfahrbar, dessen Exzentrizitäten bezüglich des Flügelrades (d.h. kartesische Komponenten DF , DR im Koordinatensystem $\underline{E}$, $\underline{R}$) die Steigung bestimmen.

Die in den Richtungen $\underline{E}$ und $\underline{R}$ auftretenden, von den Flügelrädern und ihrem Antrieb aufzubringenden Schubkräfte sind von der Anströmung der Flügelräder, also insbesondere von den geometrischen Verhältnissen unter dem Schiffsboden und der relativen Fahrtgeschwindigkeit abhängig. Dies kann durch Steuerkennlinien berücksichtigt werden. Dabei zeigt es sich für die Belastung des Antriebs und die Begrenzung der Exzentrizitäten vorteilhaft, wenn die Fahrtsteigung in Abhängigkeit der Rudersteigung reduziert wird (Kennlinie 10 in Fig.1).

Die Steuerachse A des Flügelrad-Getriebes wird mit zwei elektrisch steuerbaren Stellgliedern 11 und 12 und einer (nicht dargestellten) Mechanik verfahren. Liegen diese Stellglieder in den Achsen $\underline{E}$ und $\underline{R}$, so sind die Verstellwege DX und DY gleich den Exzentrizitäten DF und DR . Die räumlichen Verhältnisse erfordern aber je nach Schiffstyp häufig eine andere Anordnung der Stellglieder 11 und 12, z.B. in Richtung der Achsen $\underline{X}$ und $\underline{Y}$ der Figur 1. Für die Steuerung der Stellglieder müssen daher die Exzentrizitäten DF und DR entsprechend einer Drehung des Koordinatensystems in Steuergrößen Dx und Dy für die Verstellwege DX und DY umgerechnet werden.

Hierzu dient die den Steuereingängen der Stellglieder vorgeschaltete Transformationseinrichtung 13, deren Eingangssignale an einem Rechenwerk 14 abgegriffen und aus den Führungsgrößen F und R abgeleitet sind. Die Führungsgröße F für die Fahrtsteigung ist bestimmt durch einen Fahrtbefehl, der z.B. mittels eines Geschwindigkeitssteuerhebels 15 an einem entsprechenden Geber 16 eingestellt ist, und die Führungsgröße R für die Rudersteigung durch einen Ruderbefehl, der mittels eines Ruderrades 17 an einem entsprechenden Geber 18 eingestellt ist.

Die mechanischen Kräfte zum Verstellen der Steuerachse werden nach der DE-PS 2 029 995 von Servomotoren aufgebracht, die miteinander verkoppelt sind, da sie gemeinsam am Steuerpunkt A angreifen.

Es hat sich nun gezeigt, daß an sich der Zykloidenpropeller eine sehr exakte und schnelle Steuerung des Schiffes zuläßt, die hauptsächlich durch die Eigenschaften der Servomotoren und ihrer Steuerung beschränkt ist. Die Servomotoren und ihre Steuerungen sind dabei jedem Schiffstyp konstruktiv anzupassen.

Die Erfindung gibt daher eine Steuerung an, die an die jeweiligen Gegebenheiten verschiedener Schiffstypen und den jeweiligen Antrieb der Propeller sehr einfach (nämlich durch Setzen elektrischer Parameter) anpaßbar ist und den Steuerpunkt -

schnell, exakt und ohne großen Aufwand verstellt. Sie ist auch robust und möglichst wartungsfrei. Dies wird erreicht durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

In einem Hydraulikkreislauf gestatten Proportionalventile eine stetige Regelung des Durchflusses in beiden Richtungen. Dadurch können Stellzylinder sehr genau positioniert werden, wobei erhebliche Kräfte einfach, exakt und schnell gesteuert werden können.

Ein schnelles Hochfahren der Steigung belastet den Propellerantrieb und die Mechanik zum Verstellen der Schwenkflügel, unabhängig vom Vorzeichen der Steigung selbst; ein Herunterfahren der Steigung, d.h. ein Anlegen der Schwenkflügel, stellt dagegen eine Entlastung dar, die u.U. rasch vorgenommen werden kann. Daher sind für plötzliche Änderungen der Führungsgrößen vorteilhaft Hochlaufgeber vorgesehen, die die Sollwerte der Fahrtsteigung bzw. Rudersteigung kontinuierlich auf einen neuen Wert hoch- bzw. runterfahren, wobei sowohl die Geschwindigkeit der Steigerungserhöhung wie der Steigungserniedrigung jeweils für die Rudersteigung und die Fahrtsteigung unabhängig einstellbar ist. Diese Begrenzung der Anstiegsgeschwindigkeit kann insbesondere von der Belastung des Antriebs und/oder von der Drehzahl und/oder von der Stellung des Ruderrades und des Fahrthebels selbst abhängig sein.

Vorteilhaft wird die Fahrtsteigung in Abhängigkeit von der Rudersteigung, insbesondere in Form eines rudersteigungsabhängigen Faktors, verringert. Bevorzugt kann auch die Rudersteigung in Abhängigkeit von der Fahrtsteigung, insbesondere in Abhängigkeit von der Fahrtsteigung und der Fahrtrichtung, gesteuert werden. Werden die Rudersteigung und die Fahrtsteigung auf einen dem maximal zulässigen Hub der Stellzylinder entsprechenden Wert begrenzt, so können mechanische Anschläge für die maximale Zylinderauslenkung entlastet oder entbehrlich werden. Bevorzugt werden die Grenzwerte in Abhängigkeit vom Lastzustand des Antriebs vorgegeben, wodurch der Antrieb und seine Regelung entlastet sind.

Schließlich können vorteilhaft die vom Rechenwerk gebildeten Sollwerte, die den Exzentrizitäten des Steuerpunktes in Schiffskoordinaten entsprechen, in die Exzentrizitäten bezüglich der den Zylindern zugeordneten Koordinaten X , Y transformiert werden, wobei der Hub der um vertikale Achsen A_x , A_y drehbar gelagerten Zylinder entsprechend dem geometrischen Satz von Pythagoras aus diesen transformierten Exzentrizitäten berechnet wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet und werden anhand von einem Ausführungsbeispiel und weiteren Figuren erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 das bereits erläuterte, aus dem Stand der Technik bekannte Prinzip einer Zykloiden-Propeller-Steuerung,

Figur 2 das Prinzip einer bevorzugten Vorrichtung gemäß der Erfindung,

Figur 3 die Steuerung der Steuerachse in Abhängigkeit von Sollwerten für Fahrtsteigung und Rudersteigung,

Figur 4 eine Begrenzerschaltung zur lastabhängigen Begrenzung der Sollwerte,

Figur 5 ein umgeformtes Steuerdiagramm für die Sollwerte,

Figur 6 die Bildung der Sollwerte für Fahrtsteigung und Rudersteigung aus dem Fahrt- und Ruderbefehl.

In Figur 2 ist nur ein Propeller (Flügelrad 1) dargestellt, der von einem Dieselmotor 20 auf einer einstellbaren, innerhalb eines größeren Betriebsbereichs praktisch konstanten Drehzahl gehalten wird. Die optimale Anpassung an den jeweiligen aktuellen Betriebszustand erfolgt über typenmäßig oder individuell angepasste Parameter der Steuerung.

Das Antriebsmoment ist über ein geeignetes Stellglied, z.B. das Einlaßventil 21 des Dieselmotors 20, von einer Antriebsregelung 22 vorgegeben, die z.B. einen Drehzahlregler enthalten kann. Mit 23 ist ein mechanisches Glied bezeichnet, an dem der Drehzahl-Istwert abgegriffen werden kann und/oder das zur Ankopplung von Öldruckpumpen dient, um den Druck in den (vorteilhaft voneinander getrennten) Schmieröl- und Steuerölkreisläufen des Flügelradpropellers aufrechtzuerhalten. Das mechanische Glied 23 kann dabei auch eine Kuppelung enthalten.

Über Verbindungsleitungen 24 kann der Lastzustand des Antriebs (im Beispiel: der am Einlaßventil 21 eingestellten Füllgrad des Dieselmotors 20) eingreifen. Auch kann die Steuerung des Antriebs von den Soll- und Istwerten der Steigungen beeinflusst werden, z.B. damit der Antrieb nur angelassen werden kann, wenn die Flügel 2 - 6 tangential am Ruderrad 1 anliegen, das Flügelrad 1 also mit keinen Schub- und Ruderkräften belastet ist.

Zum Verstellen der Steuerachse werden gemäß der Erfindung Stellzylinder 25x, 25y verwendet, in deren Hydraulikkreislauf (Steueröl-Kreislauf) elektrohydraulische Proportionalventile 26x und 26y direkt eingesetzt sind. Sie gestatten eine stetige, in beiden Richtungen sehr feinfühligkeit Verstellung des Zylinderhubes der beiden Stellzylinder. Die Stellzylinder selbst sind z.B. um die Punkte A_x , A_y schwenkbar, wobei sich die für die Lage des Punktes A erforderlichen Zylinderhübe aus dessen Abstand von A_x und A_y gemäß dem pythagoräischen Lehrsatz ergeben.

Diese Stellzylinder 25x und 25y besitzen Istwert-Ausgänge, an denen mittels Meßumformern 27x und 27y Istwerte Hx, Hy für den Zylinderhub abgegriffen sind. Diese werden zusammen mit entsprechenden Sollwerten Hx*, Hy* jeweils einem

Vorteilhaft ist dem Zylinderhub-Regelkreis ein Ventilweg-Regelkreis unterlagert. An einem Istwert-Ausgang jedes Ventils 26x, 26y ist über Meßwertumformer 29x, 29y der Istwert der Ventilstellung abgegriffen und zusammen mit dem Ausgang der Zylinderhub-Regler 28x, 28y einem Ventilweg-Regler 30x, 30y zugeführt. Der Ausgang dieser unterlagerten Ventilweg-Regler bildet die Strom-Sollwerte Ix*, Iy*, die ihrerseits vorteilhaft jeweils einem Ventilstrom-Regler 31x, 31y eines unterlagerten Ventilstrom-Regelkreises zugeführt sind.

Um die auf die Stellzylinder 25x, 25y arbeitenden Sollwerte Hx*, Hy* zu bilden, ist gemäß Fig. 2 der am Fahrhebel 15 eingestellte Fahrbefehl F und der am Ruderrad 17 eingestellte Ruderbefehl R im Rechenwerk 14 in die Sollwerte DF und DR für die Fahrtsteigung bzw. die Rudersteigung umgerechnet, die den Exzentrizitäten des Steuerpunktes A im Schiffskoordinatensystem $\underline{E}$, $\underline{R}$ entsprechen. Die Transformationseinrichtung 13 dient der erwähnten Umrechnung in die Koordinaten $\underline{X}$, $\underline{Y}$ der Stellglieder. Der vorteilhafte Aufbau der Transformationseinrichtung 13 und des Rechenwerkes 14 wird später erläutert.

Ferner ist vorteilhaft vorgesehen, die Hubistwerte Hx, Hy auch einem invers zur Transformationseinrichtung 13 arbeitenden Istwert-Transformationsglied 32 zuzuführen, um an einer Anzeige 33 die rückgerechneten Istwerte von Rudersteigung und Fahrtsteigung anzuzeigen. Bevorzugt ist dem Istwert-Transformationsglied ein invers zum Rechenwerk 14 arbeitendes Istwert-Rechenglied 34 zur Bildung rückgerechneter Istwerte für die Führungsgrößen der Fahrtsteigung und der Rudersteigung nachgeschaltet. Ist z.B. der Schiffsantrieb in einen stationären Zustand eingelaufen, so zeigt eine Gleichstellungsanzeige 35 die Gleichheit der rückgerechneten Istwerte mit dem Fahrbefehl F und dem Ruderbefehl R entsprechenden Werten, wobei die Anzeige 33 dann die tatsächlichen Stellungen der Schwenkflügel angibt. Dies ist besonders dann vorteilhaft, wenn der Steuerhebel 15 und das Ruderrad 17 abgeschaltet wird, um auf eine Fernsteuerung, z.B. für ein Geleit aus mehreren Schiffen, oder auf eine Handsteuerung des Steuerpunktes A umzuschalten.

Durch die räumliche Anordnung der Stellglieder ist der Winkel w zwischen den Achsen $\underline{X}$, $\underline{Y}$ der Stellglieder und den Schiffssachsen $\underline{R}$, $\underline{E}$ für jeden Schiffstyp festgelegt. Dazu kann es erforderlich sein, vom rechtshändigen Schiffskoordinatensystem auf ein linkshändiges $\underline{X}$ -, $\underline{Y}$ -Koordinatensystem überzugehen, was durch einen Parameter BX bzw. BY zum Vorzeichenwechsel der X-bzw. Y-Koordinate vorgegeben werden kann. Die Koordinatentransformation transformiert dann die Sollwerte DR und DF in die Exzentrizitäten DX, DY nach den Beziehungen

$$DX = BX (DR \cdot \cos w + DF \cdot \sin w)$$

$$DY = BY (-DR \cdot \sin w + DF \cdot \cos w).$$

Für derartige Transformationen sind sogenannte "Vektordreher" bekannt. In der Transformationseinrichtung 13 ist ein entsprechendes Rechenelement 36 (Fig. 3) in Reihe mit einem weiteren Rechenelement 37 geschaltet, das gemäß dem geometrischen Lehrsatz des Pythagoras den jeweiligen Stellzylinder-Hub-Sollwert Hx*, Hy* aus den Exzentrizitäten berechnet. Wird der Abstand der Schwenkachsen Ax, Ay der Stellzylinder vom Koordinatenschnittpunkt mit ax bzw. ay bezeichnet, so ergibt sich z.B. für das Rechenglied 37 der Figur 3 die Beziehung

$$(ax + Hx)^2 = (ax + DX)^2 + DY^2$$

$$(ay + Hy)^2 = (ay + DY)^2 + DX^2.$$

Gemäß Figur 3 bildet ein entsprechendes inverses Rechenglied 37' und ein inverser Vektordreher 36' aus den tatsächlichen Istwerten Hx, Hy die rückgerechneten Istwerte Dfo', DRo' von Rudersteigung und Fahrtsteigung.

Die weitere Verarbeitung des Steuersignals für die Stellglieder, d.h. der Hubistwerte Hx*, Hy* ist in Fig. 3 nur für den Stellzylinder 25x gezeigt. Vorteilhaft wird als Hubregler 28x ein Proportionalregler verwendet. Soll ein Überspringen vermieden werden, so wird der Verstärkungsfaktor durch ein entsprechendes Kennlinienglied 38 nichtlinear eingestellt. Dadurch kann die Geschwindigkeit, mit der der Zylinder verstellt wird, insbesondere ungefähr proportional zur Wurzel aus der Regelabweichung vorgegeben werden. Damit der elektrisch verstellbare Ventilsteuerhebel keine ruckartigen Bewegungen ausführt, die große Druckänderungen zur Folge hätten, ist in Reihe mit dem Kennlinienglied 38 ein Hochlaufgeber 39 geschaltet.

Der unterlagerte Ventilweg-Regler 30x hat vorzugsweise PI-Verhalten. Seinem Ausgangssignal ist eine rechteckige Schwingung überlagert, die von einem Zusatzsollwertgeber 41 als "Ventilstrom-Dither" erzeugt wird. Dadurch wird eine ständige geringfügige Bewegung des Ventilsteuerhebels und damit eine Verringerung der Haftreibung im Proportionalventil 26x erreicht.

Der nachgeordnete Ventilstrom-Regler 31x ist als Zweipunkt-Regler ausgeführt. Hierzu wird der Ventilstrom-Sollwert gleichgerichtet und entsprechend seinem Vorzeichen (d.h. der gewünschten Vergrößerung oder Verkleinerung des Zylinderhubes) jeweils einem eigenen, der jeweiligen Durchflußrichtung des Steueröls durch Stellzylinder und Proportionalventil zugeordneten Regelkanal zugeführt. Jeder Regelkanal enthält hierbei ein Schwellwertglied 42, 42', das einen Schalttransistor 43, 43' für den Ventilstrom ansteuert.

Vorteilhaft sind die Rudersteigung und die Fahrtsteigung, d.h. die Exzentrizitäten des Steuerpunktes A, auf einen vom Lastzustand des Antriebs abhängigen Wert begrenzt. Hierzu dient die Begrenzerschaltung in Figur 4, die einen Begrenzungsregler enthält und sowohl für die Fahrtsteigung wie für die Rudersteigung jeweils einen Grenzwert vorgibt, der für positive und negative Steigungen unterschiedlich sein kann. Dadurch wird, je nach Betriebszustand des Antriebs 20, eine Überlastung vermieden und die Steuerung der Schwenkflügel kann flexibel den jeweiligen Schiffs- und Antriebstypen angepaßt werden.

Über die Verbindungsleitung 24 kann als Lastzustands-Istwert z.B. der Füllgrad der Maschine, d.h. die Einstellung des Einlaßventils 21 vorgegeben werden. Handelt es sich dabei um einen Analogwert, so kann die Abweichung von der zulässigen Maximallast L_{max} einem analogen Regler, vorzugsweise einem Regler mit integralem und differenzierendem Anteil (PI-DT1-Regler 44) zugeführt werden, dessen Ausgangssignal FL über eine Begrenzungsschaltung 45 auf einen Maximalwert FL max begrenzt ist, für den höchstens der Wert 1 vorgegeben ist. Auch der Minimalwert ist auf einen eingestellten Wert FLmin (z.B. FLmin = 1/2) begrenzt. Solange daher der Istwert L den Grenzwert L_{max} nicht erreicht, steigt das Reglerausgangssignal FL, bis es den Wert FLmax annimmt. Ist dagegen L_{max} überschritten, so wird FL ständig verringert bis entweder der Last-Maximalwert eingehalten oder der Wert FLmin erreicht ist.

Wird dagegen ein digitaler Istwert L verwendet, so kann ein Zweipunktregler (Schwellwertglied 46 mit dem Schwellwert L_{max}) verwendet werden, dessen Ausgangssignal als Polaritätssignal einem Integrator 47 zugeführt wird. Das Integrator-Ausgangssignal wächst oder fällt je nach der vorgegebenen Polarität, mit konstanter Steigung bis entweder FLmax bzw. FLmin erreicht ist, oder das Ausgangssignal FL pendelt um den Wert L_{max} .

Das Ausgangssignal FL dient Multiplizierern 48 als Faktor für das Ausgangssignal DF^* und DR^* des Kennliniengliedes 14. Die Produkte können zusätzlich Kennliniengliedern 49 zugeführt werden, um sie den entsprechenden Antriebstypen individuell anzupassen. Z.B. kann vorgesehen sein, daß

bei Maximallast bzw. bei FL = 1 die tatsächliche Fahrtsteigung DF für Vorwärtsfahrt auf 95%, für Rückwärtsfahrt aber auf z.B. 80% der durch DF^* vorgegebenen Fahrtsteigung begrenzt wird. Für die Rudersteigung können unabhängig davon eigene Maximalwerte für beide Polaritäten der Steigung vorgegeben werden.

Der lastabhängigen Begrenzerschaltung 50 entspricht ein inverses Rechenglied 50', das zunächst invers zu den Kennliniengliedern 49 durch Kennlinienglieder 49' die Maximalsteigung und durch Division mit dem Faktor FL die Wirkung der Multiplizierer 48 kompensiert.

Ferner sind weitere Ausgänge vorgesehen, an denen die lediglich um die Maximalsteigung korrigierten, rückgerechneten Istwerte DF'' , DR'' der Fahrtsteigung und Rudersteigung abgegriffen werden können.

Im erwähnten Stand der Technik ist bereits vorgeschlagen, aus dem Fahrtbefehl F die entsprechende Fahrtsteigung oder Exzentrizität als Funktion der Rudersteigung (Kennlinie 10 der Figur 1) zu bilden. Sind z.B. ein Flügelrad am Bug und ein oder zwei nebeneinanderliegende Flügelräder am Heck des Schiffes vorgesehen, so strömt das Wasser die einzelnen Flügelräder mit einer Richtung an, die in einer typenabhängigen Weise von der Schiffsängsachse $\underline{E}$ je nach Fahrgeschwindigkeit und -Richtung, d.h. Größe und Vorzeichen der Fahrtsteigung, abweicht. Um einen gewünschten Schub in $\underline{R}$ -Richtung einzustellen, werden also unterschiedliche Rudersteigungen benötigt, die durch eine Kennlinienverschiebung berücksichtigt werden. In Fig. 5 ist eine Kennlinie 10 gezeigt, die z.B. für die Fahrtsteigung einen von den Führungsgrößen F und R abhängigen Wert DF^* - (F,R) ergibt. Zur Kennlinienverschiebung wird die Rudersteigung -je nach vorwärts oder rückwärts gerichtetem Fahrschub -gegenüber der Kennlinie 10 um einen Wert $DF^* \cdot F^+$ (Gerade 51) bzw. $DF^* \cdot F^-$ (Gerade 52) verschoben und es ergibt sich die Exzentrizität DR^* :

$$DR^* = R + DF^* \cdot F^+ \text{ bzw. } DR^* = R + DF^* \cdot F^-.$$

$$DR^* = R + DF^* \cdot F^-.$$

Die Mechanik zum Verstellen des Steuerpunktes A läßt aber nur eine begrenzte maximale Auslenkung um den Mittelpunkt zu, die durch den Kreis 53 in Figur 5 angegeben ist und durch die Bedingung $\sqrt{DF^{*2} + DR^{*2}} \leq \text{konst}$

gegeben ist. Daher ergibt sich, daß das Rechenwerk aus den als Führungsgrößen vorgegebenen Befehlen F und R die Steigungen DF^* und DR^* ermittelt, die innerhalb der in Fig. 5 gezeigten Grenzkurve 54 liegen. Gemäß Fig. 6 wird diese Diagrammverschiebung durch ein entsprechendes Kennlinienglied 55 im Rechenwerk 14 erreicht. Für die rückgerechneten Istwerte DF' und DR' enthält das Istwert-Rechenglied 34 ein entsprechendes in-

verses Kennlinienglied 55', während die Werte DF'' und DR'' durch das inverse Kennlinienglied 55'' rückgerechnet werden. An den Anzeigen 57 kann dann bei einer entsprechenden Stellung des Umschalters 58 abgelesen werden, welchen rückgerechneten Exzentrizitäten in Schiffskoordinaten die momentan vorliegenden Zylinderhübe entsprechen. Tritt ein Rechnerausfall ein, so spricht das Relais 58' an und legt den Umschalter 58 um, so daß die Anzeigen 57 dann die tatsächlichen Zylinderhübe in den entsprechenden, um den Winkel w gedrehten Koordinaten zeigen.

Die Führungsgrößen F und R werden im Rechenwerk 14 durch ein Kennlinienglied 56 nach einem Zusammenhang umgeformt, für den vorteilhaft gewählt wird:

$$DF^* = F \cdot N,$$

wobei N durch die Funktion

$$N = (1 - M|R|^B)$$

mit einstellbaren Parametern M und B gegeben ist.

Eine andere vorteilhafte Kennlinie geht ebenfalls von einem derartigen Faktor N aus, setzt aber die Fahrtsteigung DF^* gleich dem Fahrtbefehl F , solange dieser betragsmäßig kleiner oder gleich dem Faktor N ist. Im anderen Fall wird $DF^* = (\text{sign } F) \cdot N$ gesetzt. Vorteilhaft kann das Kennlinienglied so ausgebildet werden, daß zwischen den beiden Kennlinienformen wahlweise umgeschaltet werden kann, wobei es zweckmäßig sein kann, gleichzeitig mit der Umschaltung auf die andere Kennlinienform auch in den anderen Bauteilen der Steuerung auf einen anderen Parametersatz überzugehen.

Dem entsprechenden Kennlinienglied 56 im Rechenwerk 14 entspricht im Istwert-Rechenglied 34 das inverse Kennlinienglied 56' zur Rückrechnung der Hub-Istwerte. Ist die Steuerung in einen stationären Zustand eingelaufen, so entsprechen dann die am Istwert-Rechenglied 34 abgegriffenen, rückgerechneten Führungsgrößen F' und R' den am Steuerhebel 15 und am Ruderrad 17 eingestellten Befehlen. Dieser abgeglichenen Zustand kann an der erwähnten Gleichstellungsanzeige 35 (Fig. 2) abgelesen werden, um damit den Übergang auf eine Fernsteuerung oder eine Handsteuerung vor Ort freizugeben. Dieser Übergang kann durch einen Betriebswahlschalter 59 erfolgen. Über diesen Betriebswahlschalter ist es auch möglich, die rückgerechneten Führungsgrößen auf den Eingang der Steuerung durchzuschalten, um die Hochlaufgeber der Steuerung den Istwerten beim Handbetrieb nachzuführen, bei dem die Regler außer Eingriff sind.

Um plötzliche Verstellungen der Schwenkflügel und damit verbundene Lastsprünge des Antriebs zu vermeiden, ist für die Führungsgrößen F und R der Rudersteigung und der Fahrtsteigung jeweils ein Hochlaufgeber zweckmäßig, um die Verstellgeschwindigkeit bei schnellen Änderungen des Fahrt-

befehls und des Ruderbefehls zu begrenzen. Die Verstellgeschwindigkeit ist dabei kein konstanter Wert, sondern ändert sich mit der Größe der jeweiligen Komponente. Auch kann die Richtung, d.h. ein Hochlauf vom Nullpunkt weg oder ein Runterlauf zum Nullpunkt hin, berücksichtigt werden. Da die Steuerölpumpe an den Antrieb gekoppelt ist, ist auch eine Abhängigkeit der Verstellgeschwindigkeit von der Drehzahl zweckmäßig. Zusätzlich kann die Hochlaufgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Last des Antriebs verringert werden, um eine Überlastung des Antriebmotors zu vermeiden.

Gemäß Figur 6 ist daher am Eingang des Rechenwerks 14 eine Schaltung 60 zur Begrenzung der Verstellgeschwindigkeit angeordnet, die jeweils einen Hochlaufgeber 61F und 61R enthält, um bei einer Änderung des Fahrtbefehls die Fahrtsteigung F bzw. bei einer Änderung des Ruderbefehls die Rudersteigung R kontinuierlich auf den neuen Wert hochzufahren, wobei bevorzugt die Änderungsgeschwindigkeit für eine Steigungszunahme und eine Steigungsabnahme für die Rudersteigung bzw. für die Fahrtsteigung unabhängig einstellbar sind.

Die Änderungsgeschwindigkeit VF der Führungsgröße F für die Fahrtsteigung ist am Hochlaufgeber 61F im Beispiel der Figur 6 auf einen konstanten Wert VF_0 voreingestellt, der z.B. auf die Propellergröße abgestimmt ist und in Abhängigkeit von der Fahrtsteigung, dessen Änderungsrichtung, der Antriebsleistung L und der Drehzahl N_0 des Motors bzw. der Steuerölpumpe korrigiert werden kann. Die Erfassung der Fahrtsteigung ist durch einen Betragsbildner 62 für deren Führungsgröße F bzw. am Fahrthebel 15 abgegriffenes Steuersignal F_0 dargestellt, während ein Detektor 63 die Erfassung der Änderungsrichtung, d.h. die Unterscheidung zwischen Steigungszunahme und Steigungsabnahme gemäß $\text{sign } \frac{d|F|}{dt}$ symbolisiert.

Ein vom Detektor 63 angesteuerter Umschalter 63' gestattet durch richtungsabhängiges Umschalten zwischen zwei Kennliniengebern 64, 64' eine von der Fahrtsteigung und deren Änderungsrichtung abhängige Korrekturfunktion $FF(F_0)$, vorzugsweise einen Polygonzug, einzustellen. Ebenso wird durch den Umschalter und zwei Kennliniengeber 65, 65' eine leistungsabhängige Korrekturfunktion $HF(L)$ eingestellt, wobei eine Steigungsabnahme insbesondere auch unabhängig von der Leistung rasch vorgenommen werden kann, so daß an dem im Fall $d|F|/dt < 0$ aktivierten Kennliniengeber 65' insbesondere der Wert "1" konstant eingestellt sein kann.

Ein von der Drehzahl N_0 angesteuerter Kennliniengabe 66 liefert ferner eine Korrekturfunktion $G(N_0)$, so daß der Hochlaufgeber die Änderungsgeschwindigkeit VF der Führungsgröße F bestimmt nach der Beziehung:

$$VF = VF_0 \cdot FF(F_0) \cdot G(N_0) \cdot HF(L).$$

Für die Führungsgröße R der Rudersteigung, die gemäß dem Signal R_0 des Ruderrades 17 gebildet wird, werden durch entsprechende Kennliniengabe in Verbindung mit einem entsprechenden Detektor die Funktionen $FR(R_0)$ und $HR(L)$ gebildet, die aus der voreingestellten Hochlaufgeschwindigkeit VR_0 die Änderungsgeschwindigkeit VR der Führungsgröße R liefern gemäß der Beziehung

$$VR = VR_0 \cdot FR(R_0) \cdot G(N_0) \cdot HR(L).$$

Die Erfindung schafft somit eine Steuerung für den Steuerpunkt A eines Zykloidenpropellers, die durch einfache Justierung der einzelnen Parameter und Kennlinien auf einfache Weise an ganz unterschiedliche Schiffstypen und Erfordernisse angepaßt werden kann. Sie ist robust, nahezu wartungsfrei und einfach zu bedienen.

Ansprüche

1. Vorrichtung zur Steuerung eines mit einem Antrieb (20) gekuppelten Zykloidenpropellers (1 - 6) für Wasserfahrzeuge mit

a) einer Mechanik, die die Schwenkflügelsteigungen des Propellers in Abhängigkeit von den Exzentrizitäten (DX , DY) eines Steuerpunktes (A) verstellt,

b) zwei miteinander verkoppelten elektrisch steuerbaren Stellgliedern, die den Steuerpunkt der Mechanik verfahren,

c) einem Rechenwerk (14), das in Abhängigkeit von einem Fahrtbefehl (F) und einem Ruderbefehl (R) je einen auf Schiffskoordinaten bezogenen Sollwert für die Fahrsteigung (DF) und die Rudersteigung (DR) bildet, und

d) einer Transformationseinrichtung (13), die aus den Sollwerten die auf die Stellglieder bezogenen Exzentrizitäten bildet,

gekennzeichnet durch einen hydraulischen Kreislauf mit zwei elektrohydraulischen, jeweils auf einen um eine vertikale Achse (Ax , Ay) drehbaren Stellzylinder (25x, 25y) zur Verfahrung des Steuerpunktes arbeitenden Proportionalventilen (26x, 26y), ein Rechenglied (37 in Fig. 3), das aus den Exzentrizitäten Hubsollwerte für die Stellzylinder errechnet, und jeweils einen Zylinderhub-Regelkreis (25x -31x, 25y -31y), der aus dem Hubsollwert und dem Hub-Istwert (Hx) einen Sollwert (Ix ; Iy) für den Ventilstrom des auf den Zylinder arbeitenden Ventils bildet (Figur 2).

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Rechenwerk ein erstes Kennlinienglied (56) enthält, das aus einer vom Fahrtbefehl abgeleiteten Führungsgröße F , einer die Rudersteigung bestimmenden Größe R und einstellbaren Parametern M und B einen Sollwert DF für die Fahrsteigung nach dem Zusammenhang

$$DF = F \cdot (1 - M|R|^B)$$

bildet.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Rechenwerk ein erstes Kennlinienglied enthält, das aus einer aus dem Fahrtbefehl abgeleiteten Führungsgröße F und einer aus dem Ruderbefehl abgeleiteten Führungsgröße R sowie einstellbaren Parametern M und B den Sollwert DF für die Fahrsteigung ermittelt, für den gilt:

$$DF = F, \text{ falls } |F| \leq N = 1 - M|R|^B \text{ ist, und im anderen Fall } DF = (\text{sign} F) \cdot N.$$

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Rechenwerk ein zweites Kennlinienglied enthält, das die Rudersteigung in Abhängigkeit von einer Führungsgröße für die Fahrsteigung, insbesondere in Abhängigkeit von der Führungsgröße für die Fahrsteigung und von der Fahrtrichtung, steuert.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Rechenwerk Hochlaufgeber (61F, 61R) enthält, die bei einer Änderung des Fahrtbefehls (F_0) und bei einer Änderung des Ruderbefehls jeweils eine Führungsgröße für die Fahrsteigung und die Rudersteigung kontinuierlich auf einen neuen Wert hochfahren, wobei für eine Steigungszunahme und eine Steigungsabnahme die Änderungsgeschwindigkeit der Führungsgröße unabhängig einstellbar ist. (Figur 6)

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Hochlaufgeber am Eingang des Rechenwerks angeordnet sind und aus dem Fahrtbefehl F_0 und dem Ruderbefehl R_0 die Führungsgrößen F und R bilden, deren Änderungsgeschwindigkeit VF und VR gemäß

$$VF = VF_0 \cdot FF(F_0) \cdot G(N) \cdot HF(L)$$

$$VR = VR_0 \cdot FR(F_0) \cdot G(N) \cdot HR(L)$$

bestimmt werden, wobei $FF(F_0)$ und $FR(R_0)$ jeweils von F_0 bzw. R_0 und deren Vorzeichen abhängige Funktionen (insbesondere entsprechend einer Zunahme oder Abnahme des Steigungsbetrages ausgewählte Funktionen) $G(N)$ eine von der Drehzahl des Propellers bzw. Antriebs abhängige Funktion und $HF(L)$ und $HR(L)$ vom Lastzustand des Antriebs abhängige Funktionen sind, insbesondere Funktionen mit $HF(L) = 1$ bzw. $HR(L) = 1$ für eine Verringerung der Fahrsteigung bzw. Rudersteigung (Figur 6).

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Sollwerte für die Rudersteigung und die Fahrtsteigung auf einen dem maximal zulässigen Hub der Stellzylinder entsprechenden Wert begrenzt sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Sollwerte jeweils auf einen vom Lastzustand des Antriebs abhängigen Wert begrenzt sind.

9. Vorrichtung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** eine Begrenzerschaltung, die die Sollwerte jeweils auf einen vom Ausgangssignal eines Begrenzungsreglers, der von einer vom Lastzustand des Antriebs entsprechenden Größe gespeist ist, vorgegebenen Wert begrenzt, vorzugsweise einen für positive und negative Sollwerte unterschiedlich vorgegebenen Wert.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Hub-Istwerte auch einem invers zur Transformationseinrichtung und zum Rechenglied arbeitenden Istwert-Transformationsglied

zugeführt sind zur Bildung von rückgerechneten Istwerten für die Rudersteigung und die Fahrtsteigung.

11. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß dem Istwert-Transformationsglied ein zum Rechenwerk invers arbeitendes Istwert-Rechenglied nachgeschaltet ist zur Bildung rückgerechneter Istwerte für die Führungsgrößen von Fahrtsteigung und Rudersteigung.

12. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Zylinderhub-Regelkreis einen nichtlinearen Proportionalverstärker (38) und einen Hochlaufgeber (39) enthält.

13. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß jedem Zylinderhub-Regelkreis ein Ventilweg-Regelkreis mit einem pl-Regler (40) unterlagert ist, dessen Ausgangssignal ein alternierender Ventilstrom-Zusatzsollwert aufgeschaltet ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß jeder Ventilstrom-Sollwert einem unterlagerten Regelkreis für den Ventilstrom zugeführt ist.

25

30

35

40

45

50

55

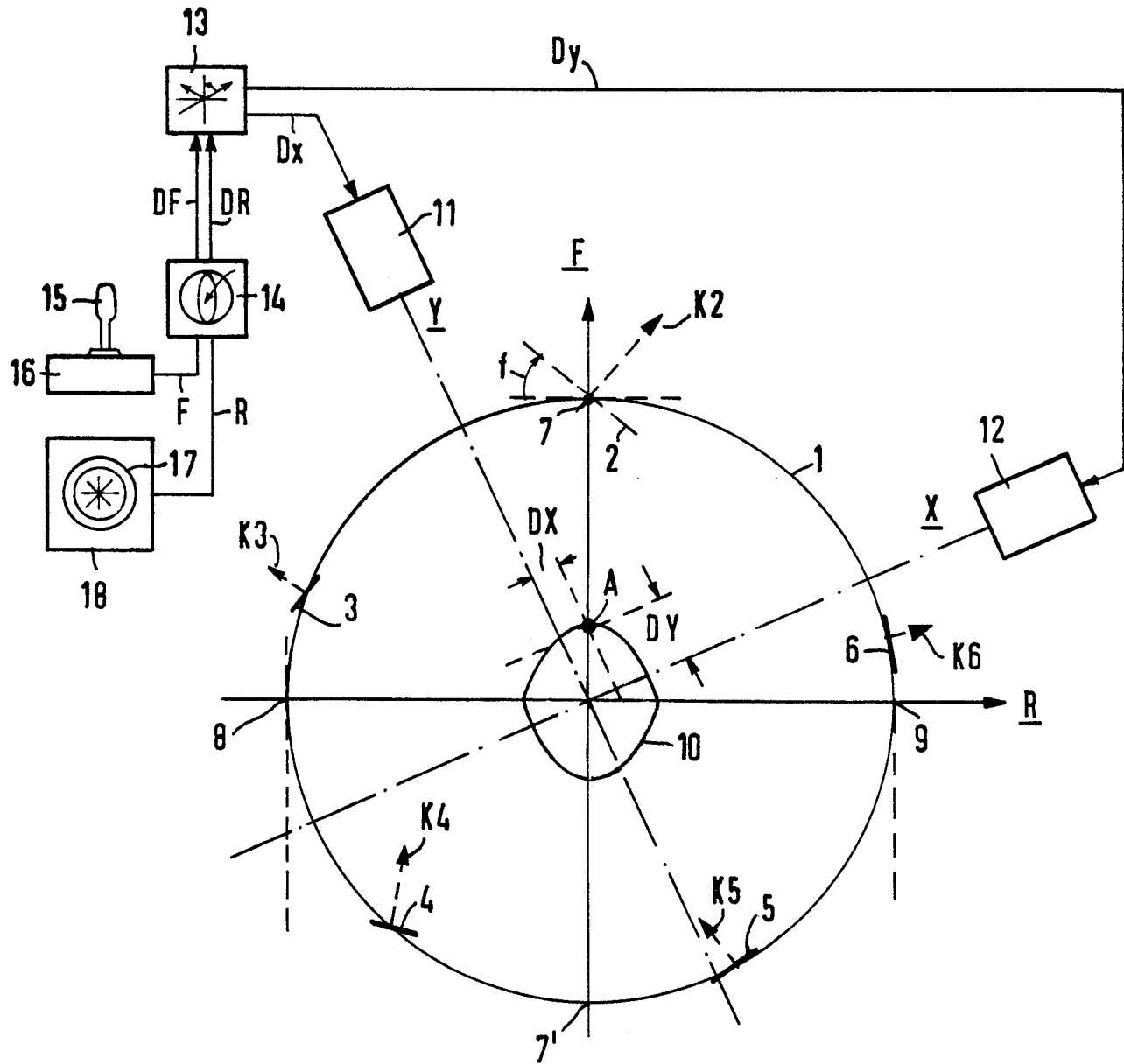


FIG. 1

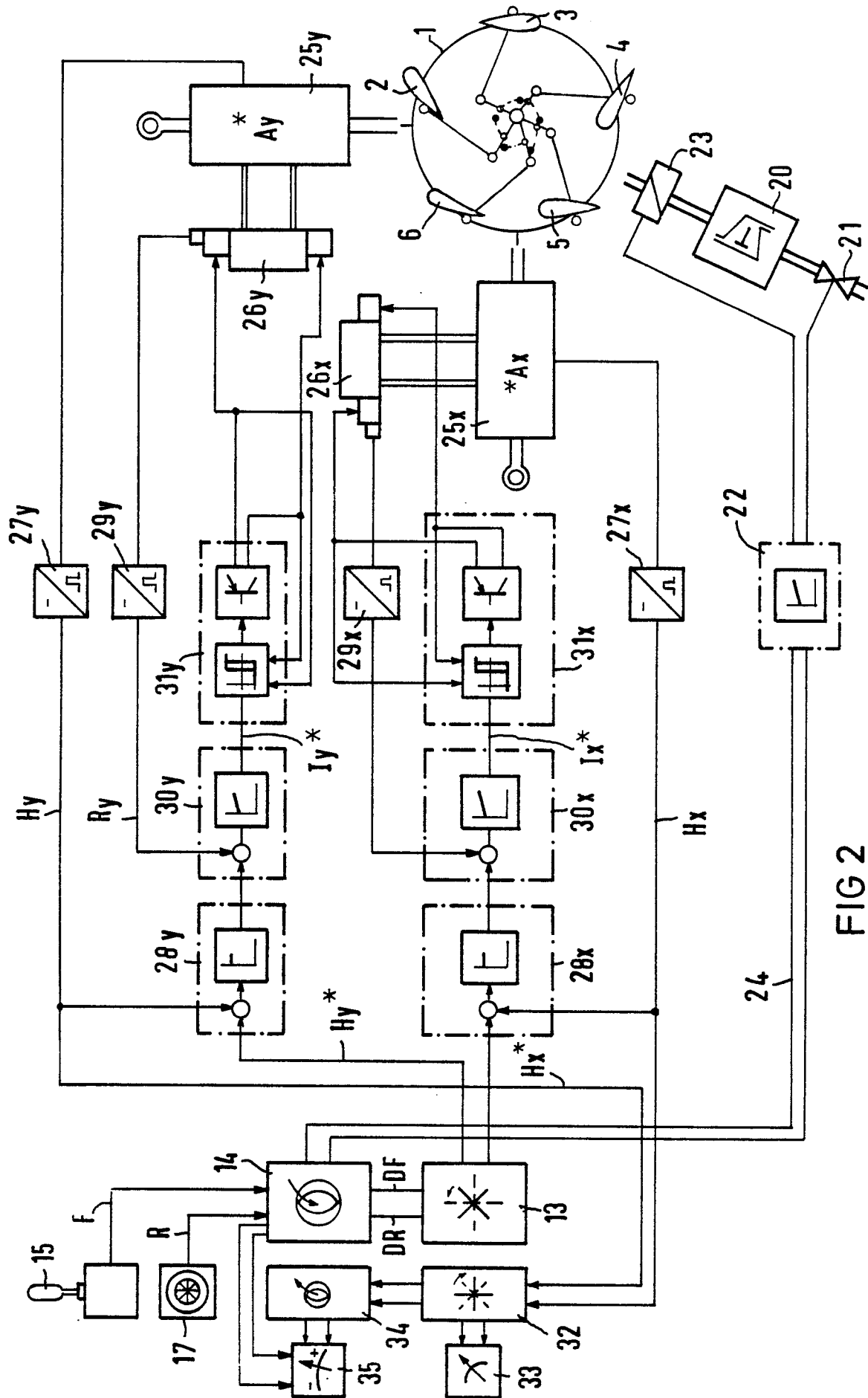


FIG 2

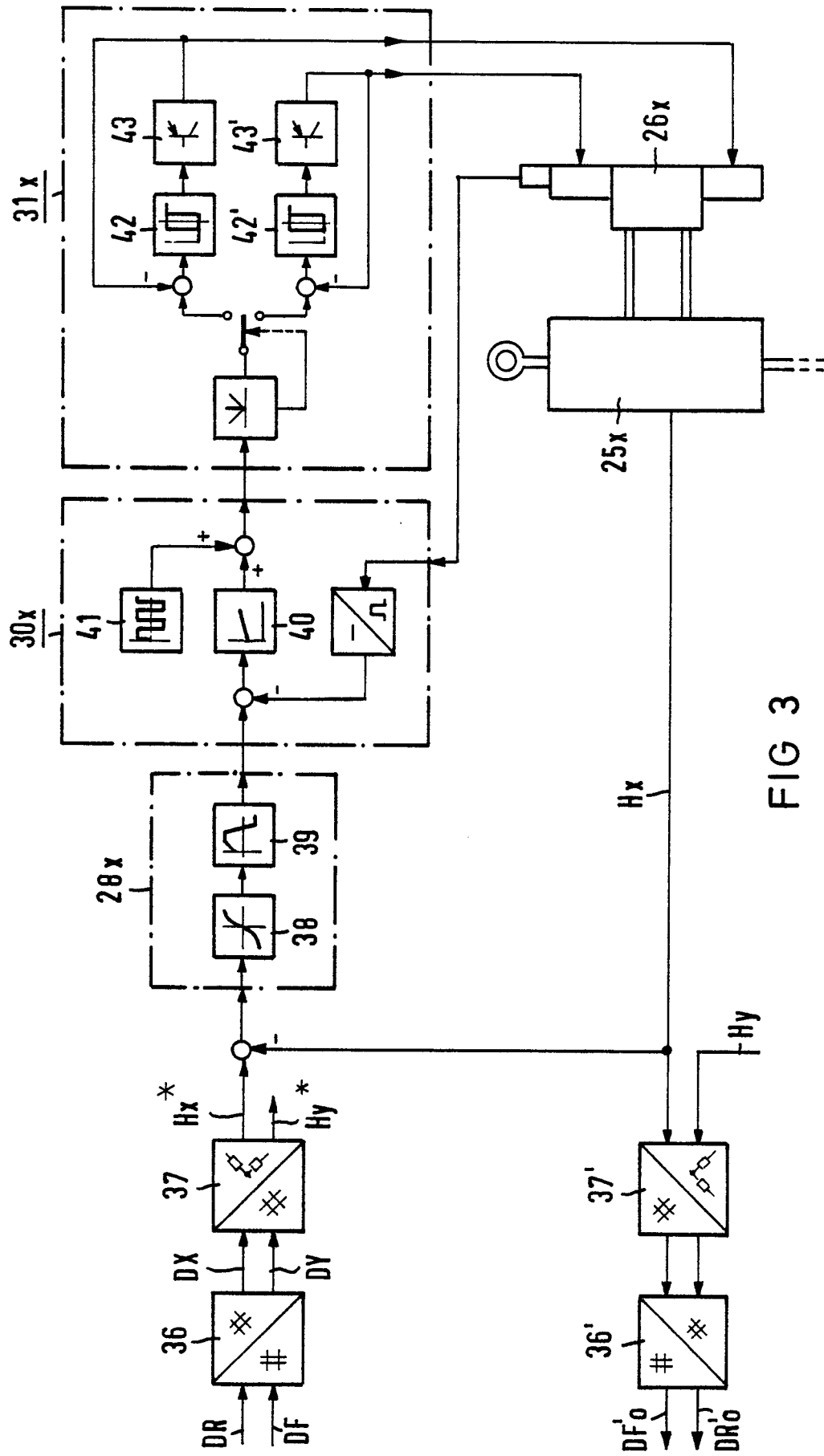


FIG 3

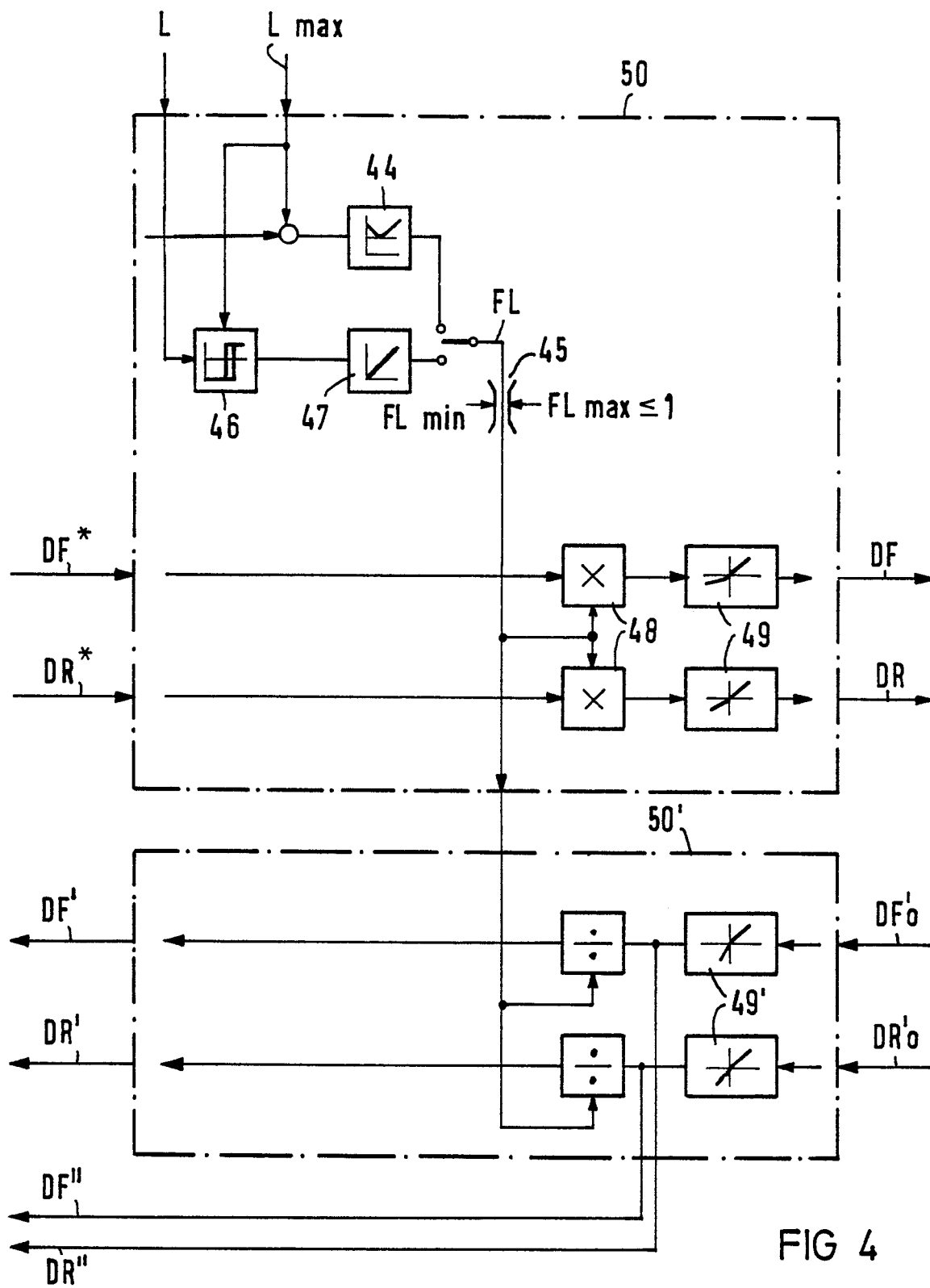


FIG 4

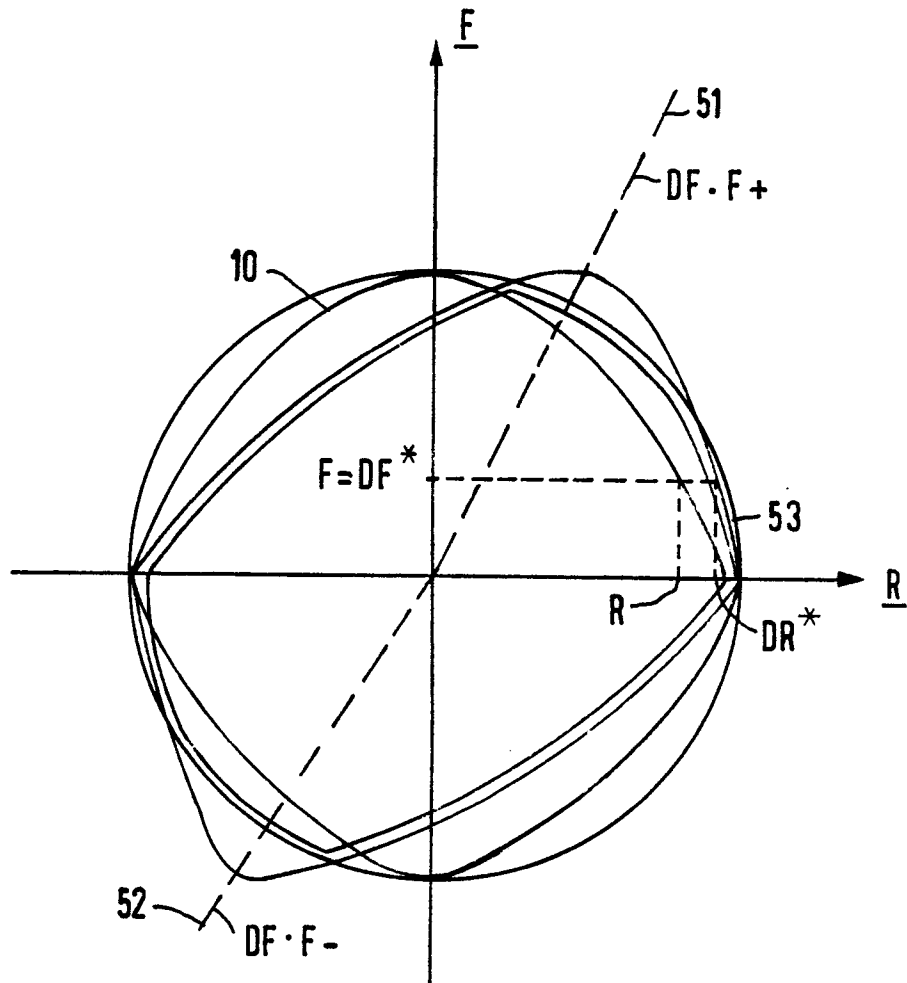


FIG 5

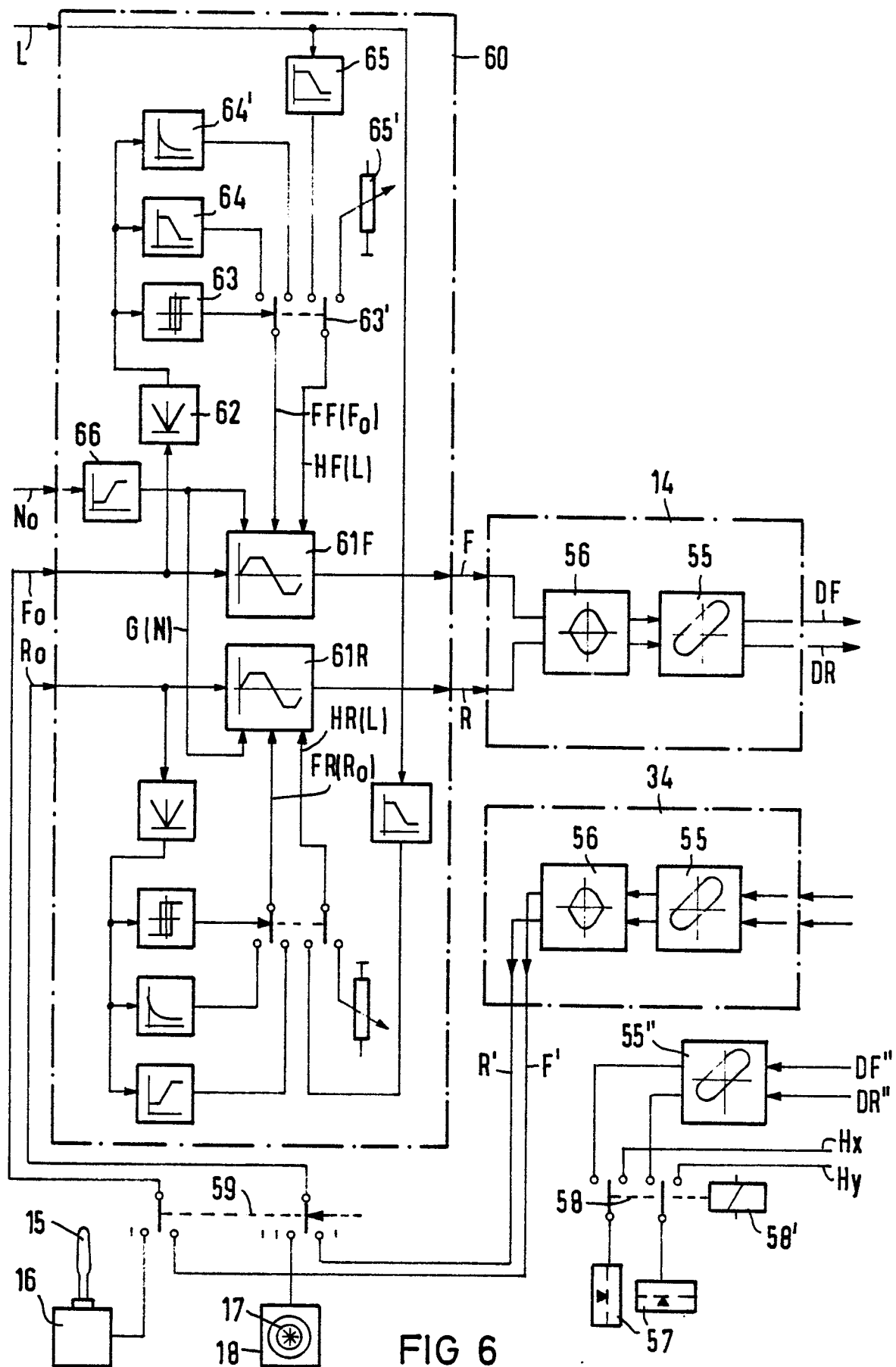


FIG 6



EP 86 11 4902

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE																	
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 4)														
A	FR-A-2 099 178 (SIEMENS) * Insgesamt * & DE-A-2 029 995 (Cat. D)	1	B 63 H 1/10														
A	DE-A-2 141 569 (VOITH) * Insgesamt *	1															
A	FR-A-2 099 167 (VOITH)																
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl. 4)														
			B 63 H														
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.																	
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 09-02-1987	Prüfer DE SCHEPPER H.P.H.														
<table border="0"><tr><td>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</td><td>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</td></tr><tr><td>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet</td><td>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument</td></tr><tr><td>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie</td><td>L : aus andern Gründen angeführtes Dokument</td></tr><tr><td>A : technologischer Hintergrund</td><td></td></tr><tr><td>O : mündliche Offenbarung</td><td></td></tr><tr><td>P : Zwischenliteratur</td><td>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</td></tr><tr><td>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze</td><td></td></tr></table>				KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE	E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument	Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	L : aus andern Gründen angeführtes Dokument	A : technologischer Hintergrund		O : mündliche Offenbarung		P : Zwischenliteratur	& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE	E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist																
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet	D : in der Anmeldung angeführtes Dokument																
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie	L : aus andern Gründen angeführtes Dokument																
A : technologischer Hintergrund																	
O : mündliche Offenbarung																	
P : Zwischenliteratur	& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument																
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze																	