



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① CH 648 906 A5

⑤ Int. Cl.⁴: F 03 B 3/10  
F 03 B 15/02  
F 03 B 3/18

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**  
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

<p>⑲ Gesuchsnummer: 6461/80</p> <p>⑳ Anmeldungsdatum: 27.08.1980</p> <p>⑳ Priorität(en): 01.09.1979 DE 2935480</p> <p>㉔ Patent erteilt: 15.04.1985</p> <p>④ Patentschrift veröffentlicht: 15.04.1985</p>	<p>㉗ Inhaber: J. M. Voith GmbH, Heidenheim (DE)</p> <p>㉘ Erfinder: Klemm, Dieter, Heidenheim (DE) Ulith, Peter, Heidenheim (DE)</p> <p>㉙ Vertreter: Patentanwälte Georg Römpler und Aldo Römpler, Heiden</p>
--	--

⑤ Verfahren und Vorrichtung zum Betrieb einer Pumpenturbine im Kennlinienbereich zwischen Teillast- und Rückwärtspumpenbetrieb.

⑥ Beim Betrieb von Pumpenturbinen zwischen Teillast- und Rückwärtspumpenbetrieb stellen sich beim Öffnen der Leitschaufeln instabile Zustände ein, d.h. die Kennlinien verlaufen mit negativer Neigung oder s-förmig. Zur Vermeidung der Instabilität wird wenigstens eine Leitschaufel aus dem synchronen Verstellverband herausgenommen und vorgeöffnet.

## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Betrieb einer Pumpenturbine im Kennlinienbereich zwischen Teillast- und Rückwärtspumpenbetrieb, wobei die verschiedenen Betriebszustände durch Verändern der Leitschaukelöffnung hergestellt werden, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens vorübergehend wenigstens eine Leitschaukel aus dem synchronen Verstellverband herausgenommen und vorgeöffnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem mehr als eine Leitschaukel aus dem synchronen Verband herausgenommen ist, dadurch gekennzeichnet, dass polarsymmetrisch angeordnete Leitschaukeln aus dem Verband herausgenommen werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zwei gegenüberliegende Leitschaukeln aus dem Verband herausgenommen werden.

4. Leiteinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3, mit Leitschaukeln, die durch einen gemeinsamen Regelring verstellbar werden, dadurch gekennzeichnet, dass zur Voröffnung der aus dem synchronen Verband herausgenommenen Leitschaukel (12) ein zwischen dem Regelring (7) und der Leitschaukel (12) angeordneter, die Zuordnung zwischen Regelringstellung und Leitschaukelstellung ändernder hydraulischer Servomotor (16; 27) dient.

5. Leiteinrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Lenker (27) der aus dem synchronen Verband herausgenommenen Leitschaukel (12) längenveränderbar ausgebildet ist.

6. Leiteinrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Regelring (7) auf einen lose um die Leitschaukelzapfenachse schwenkbaren Hebel (15) wirkt, der über einen gesondert steuerbaren hydraulischen Servomotor (16) den fest mit dem Leitschaukelzapfen (14) verbundenen Leitschaukelhebel (17) verschwenkt.

7. Leiteinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3, mit Einzelservomotorregelung der Leitschaukeln, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einrichtung (31) zum Aufaddieren eines zusätzlichen Voröffnungssollwertes (30) auf den Öffnungssollwert (28) für sämtliche Einzelleitschaukelöffnungsregler vorgesehen ist.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Pumpenturbine im Kennlinienbereich zwischen Teillast- und Rückwärtspumpenbetrieb, wobei die verschiedenen Betriebszustände durch Verändern der Leitschaukelöffnung hergestellt werden.

Es ist bekannt, Pumpenturbinen zum Turbinenbetrieb wie jede andere Reaktionsturbine durch gleichmässiges Öffnen der Leitschaukeln anzufahren. Dabei wird das Laufrad vom Stillstand bis zur Nenndrehzahl beschleunigt. Bei Erreichen des Leerlaufbetriebes bei Leerlauföffnung der Leitschaukeln kann der Motor-generator synchronisiert und an das elektrische Netz geschaltet werden. Durch weiteres Öffnen der Leitschaukeln geht dann die Maschine in den Turbinenbetrieb über und gibt Leistung ab. Die Kennlinien von Pumpenturbinen laufen bei der Darstellung z. B. im  $n'_1$ - $Q'_1$ -Diagramm (Einheitsdrehzahl über Einheitswasserstrom) mit zunehmendem  $n'_1$  immer steiler. Sie können sogar senkrecht verlaufen oder eine negative Neigung haben. Dies bedeutet, dass die Charakteristik der Maschine in diesen Bereichen instabil werden kann.

Ein Ausschnitt aus dem Vierquadrantenkennlinienfeld einer bekannten Pumpenturbine ist in der Fig. 1 dargestellt. Diese zeigt Kennlinien für verschiedene Leitradöffnungen  $a_1$  bis  $a_5$ , wobei die hier gezeigte grosse Öffnung  $a_5$  noch zum Synchronisieren verwendet wird. Mit L ist die Leerlauflinie für den Turbinenbetrieb bei einem Moment  $M = 0$  bezeichnet. Unterhalb der Leerlauflinie L setzen sich die Kennlinien  $a$  zunächst im sogenannten Bremsbetrieb fort, bei dem das Laufrad Leistung auf-

nimmt und der Wasserstrom in Turbinenflussrichtung weiter abbremsst, bis schliesslich kein Wasser mehr durch die Turbine fliesst. Daran anschliessend geht die Maschine unterhalb der Abszisse in einen Pumpenbetrieb in Turbinendrehrichtung, d. h. in einen sogenannten Rückwärtspumpenbetrieb über, bei dem das Wasser trotz Turbinendrehrichtung des Laufrades in Pumpenflussrichtung gefördert wird (siehe auch Fuji-Elektrik-Review, Vol. 24, No. 2, auf Seite 42, Fig. 8, und auf Seite 44, Fig. 12).

Die Kennlinien können, wie aus dem Diagramm der Fig. 1 zu ersehen, im Brems- und Rückwärtspumpenbetrieb teilweise eine S-förmige Charakteristik aufweisen; das führt ebenfalls zu einem unerwünschten instabilen Verhalten der Pumpenturbine. Die Folge eines solchen unerwünschten instabilen Betriebsverhaltens besteht darin, dass das Synchronisieren beim Hochfahren zum Turbinenbetrieb erschwert oder sogar unmöglich gemacht wird und dass ein längerer Betrieb im Leerlauf nicht möglich ist, weil z. B. kleinste unvermeidliche Druckschwankungen zu einem plötzlichen «Überschnappen» in einen Betriebspunkt mit Leistungsaufnahme führen können. Auch wird beim Übergang vom Phasenschieberbetrieb in Turbinendrehrichtung mit in Luft umlaufendem Laufrad zum Turbinenbetrieb, wenn die Turbine wieder gefüllt und der Kugelschieber geöffnet worden ist, beim Öffnen des Leitapparates der nicht vermeidbare vorübergehende Anstieg der Leistungsaufnahme unerwünscht hoch und springt dann plötzlich bei weiterem Öffnen zu einer verhältnismässig grossen Leistungsabgabe im Turbinenbetrieb über.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben und Leiteinrichtungen zur Durchführung des Verfahrens zu schaffen, durch welche die Kennlinien beim Anfahren auf eine stabile Charakteristik geändert werden können, d. h. auf eine Charakteristik, bei welcher jedem  $n'_1$ -Wert einer Kennlinie im  $n'_1$ - $Q'_1$ -Diagramm nur ein einziger  $Q'_1$ -Wert zugeordnet ist.

Das erfindungsgemässe Verfahren löst das Problem dadurch, dass wenigstens vorübergehend wenigstens eine Leitschaukel aus dem synchronen Verstellverband herausgenommen und vorgeöffnet wird. Es werden also von den entweder starr durch einen Regelring oder bei Einzelservomotoren durch eine entsprechende Gleichlaufsteuerung synchron bewegten Leitschaukeln eine oder mehrere bewusst aus dem synchronen Verband herausgenommen und unterschiedlich zu den übrigen Leitschaukeln vorgeöffnet und dadurch Einfluss auf die Kennlinien genommen. Wenn nämlich einzelne Leitschaukeln auf eine grössere Öffnung als im Verband stehenden Leitschaukeln gebracht werden, genügt für die synchronen Leitschaukeln eine kleinere Öffnung, um auf den gleichen Wasserstrom und auf gleiche Drehzahl wie bei synchroner Öffnung aller Leitschaukeln zu kommen. Da kleine Leitradöffnungen immer stabile Kennlinien zeigen, wird auf diese Weise eine Kennlinie, die bei synchronen Leitschaukeln instabil ist, durch einzelne vorgeöffnete Leitschaukeln stabilisiert.

Gemäss einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemässen Verfahrens werden dann, wenn mehr als eine Leitschaukel aus dem synchronen Verband herausgenommen ist, die aus dem Verband herausgenommenen Leitschaukeln polarsymmetrisch angeordnet. Vorzugsweise werden dabei zwei gegenüberliegende Leitschaukeln aus dem Verband herausgenommen.

Aufgrund des erfindungsgemässen Verfahrens ist es möglich, einwandfrei und in ausreichend kurzer Anfahrzeit zu synchronisieren und die ans Netz geschaltete Maschine vollkommen stabil im Leerlauf und bei Teillast zu betreiben. Die Gefahr, dass die Maschine im Rückwärtspumpenbetrieb arbeitet, ist beseitigt. Es ergibt sich als weiterer Vorteil, dass bei einem Betriebsübergang vom Phasenschieberbetrieb zum Turbinenbetrieb die kurzzeitig auftretende Leistungsaufnahme erheblich reduziert und bei geeigneter Steuerung vermieden werden kann.

Eine zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens geeignete Leiteinrichtung mit Leitschaukeln, die durch einen

gemeinsamen Regelring verstellbar werden, ist erfindungsgemäss dadurch gekennzeichnet, dass zur Voröffnung der aus dem synchronen Verband herausgenommenen Leitschaufeln ein zwischen dem Regelring und der Leitschaukel angeordneter, die Zuordnung zwischen Regelringstellung und Leitschaukelstellung ändernder hydraulischer Servomotor dient. In einer vorteilhaften Ausführungsart der erfindungsgemässen Leiteinrichtung ist der Lenker der aus dem synchronen Verband herausgenommenen Leitschaukel längenveränderbar ausgebildet.

Gemäss einer vorteilhaften weiteren Ausbildungsmöglichkeit wirkt der Regelring auf einen lose um die Leitschaukelachse schwenkbaren Hebel, der über einen gesondert steuerbaren hydraulischen Servomotor den fest mit dem Leitschaukelzapfen verbundenen Leitschaukelhebel verschwenkt.

Bei einer mit Einzelservomotorregelung ausgerüsteten Leiteinrichtung ist in vorteilhafter Weise eine Einrichtung zum Aufaddieren eines zusätzlichen Voröffnungssollwertes auf den Öffnungssollwert für die synchrone Leitschaukelöffnungsregelung vorgesehen.

Die Erfindung ist im folgenden in Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung näher erläutert. Darin zeigt:

Fig. 1, wie schon oben erwähnt, einen Ausschnitt aus einem Vierquadrantenkennlinienfeld einer Pumpenturbine nach dem Stand der Technik;

Fig. 2 einen entsprechenden Ausschnitt eines Kennlinienfeldes einer gemäss der Erfindung betriebenen Pumpenturbine;

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines regelringgesteuerten Leitapparates einer Pumpenturbine mit einer Einrichtung nach der Erfindung;

Fig. 4 in schematischer Darstellung eine Alternativausbildung eines regelringgesteuerten Leitapparates, und

Fig. 5 im Blockschaltbild die erfindungsgemässe Einrichtung für einen einzelservomotorgesteuerten Leitapparat.

Im Gegensatz zu den Kennlinien der Fig. 1, welche, wie schon oben erwähnt, Kennlinien eines Leitapparates zeigen, bei welchem sämtliche Leitschaufeln synchron gesteuert werden, zeigt Fig. 2 Modellversuchen entnommene Kennlinien eines entsprechenden Leitapparates, bei welchem jedoch einige Leitschaufeln gegenüber den übrigen Leitschaufeln vorgeöffnet werden. Es sind auch hier wieder Kennlinien  $a_{11}$  bis  $a_{14}$  dargestellt. Es ist klar zu erkennen, dass diese Kennlinien eine absolut stabile Charakteristik aufweisen. Jedem  $n'_1$ -Wert einer Kennlinie ist nur ein einziger  $Q'_1$ -Wert zugeordnet.

In Fig. 3 sind schematisch zwei regelringgesteuerte Leitschaufeln dargestellt, und zwar ist die Leitschaukel 6 im normalen

synchronen Verband mit dem Regelring 7. Sie wird über den Lenker 8 und den Leitschaukelhebel 9 durch Verdrehen des Regelringes 7 in Pfeilrichtung 10 geöffnet und durch Verdrehen in Pfeilrichtung 11 geschlossen. Die Leitschaukel 12 dagegen kann aus dem synchronen Verband herausgenommen werden. Der ihr zugeordnete Lenker 13 greift an einem lose um den Leitschaukelzapfen 14 schwenkbaren Doppelhebel 15 an, der an seinem andern freien Ende über einen hydraulischen Stellmotor 16 auf dem eigentlichen mit dem Leitschaukelzapfen 14 fest verbundenen Leitschaukelhebel 17 einwirkt. Über Druckleitung 18, Magnetventil 19 und Verstärkventil 20 kann dem durch den Regelring 7 zugeordneten Istwertsignal ein Überlagerungssignal zugeführt werden. Damit ist es möglich, die Leitschaukel 12 und weitere über die Druckleitung 21 angeschlossene, mit entsprechenden Antrieben versehene Leitschaufeln vorzuöffnen.

Ein weiteres Steuerventil 23 dient für eine Endlagenregelung, welche ein Übersteuern der vorgeöffneten Leitschaukel 12 über die maximale Öffnung hinaus verhindert, wenn bei maximaler Voröffnung die weitere Öffnung im Verband durch den Regelring 7 erfolgt. Ausser den den maximalen Öffnungswinkel begrenzenden normalen Anschlägen 24 an sämtlichen Leitschaufeln ist an den vorzuöffnenden Leitschaufeln ein weiterer Anschlag 25 vorgesehen, gegen welchen der Steuerstift des Steuerventils 20 anschlägt, wenn bei Voröffnung der Leitschaukel 12 die Steuerung über den Regelring 7 den maximalen Öffnungswert überschreitet. Durch den Anschlag wird das Steuerventil 20 auf Schliessen gesteuert.

Eine weitere Möglichkeit der Herausnahme einer Leitschaukel aus dem Verband bei regelringgesteuerten Leitschaufeln ist in Fig. 4 dargestellt, wobei die gleichen Teile mit den in Fig. 3 verwendeten Bezugszeichen versehen sind. Der an dem Leitschaukelhebel 26 angreifende Lenker 27 für die aus dem synchronen Verband herausnehmbare Leitschaukel 12 ist als hydraulischer Stellzylinder längenveränderlich ausgebildet. Die Steuerung dieses Stellzylinders kann in der gleichen Weise wie bei der Ausführung gemäss Fig. 3 erfolgen.

In der Fig. 5 ist schliesslich noch eine Steuerung der vorzuöffnenden Schaufeln bei solchen Leitapparaten dargestellt, welche eine Einzeleitschaukelregelung mit einem elektrischen Primärregler aufweisen, etwa gemäss der DE-PS 2204804 der Anmeldung. Der Öffnungssollwert in dem Glied 28 wird über die Leitung 29 den im Verband verbindlichen Schaufeln zugeführt. Die Grösse der Voröffnung der vorzuöffnenden Schaufeln wird über das Glied 30 zugeführt und den Werten von dem Glied 28 in dem Addierglied 31 zuaddiert und über 32 den vorzuöffnenden Leitschaufeln als Sollwert zugeführt.

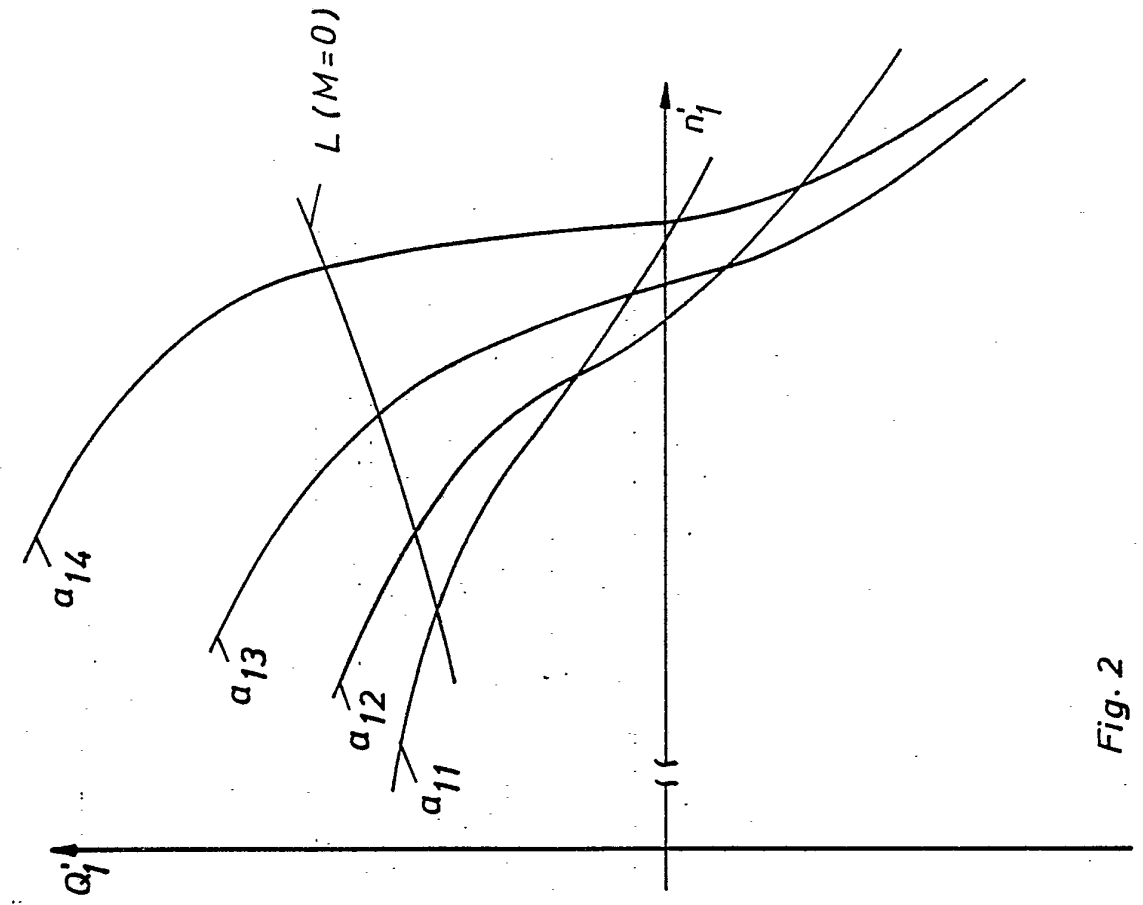


Fig. 2

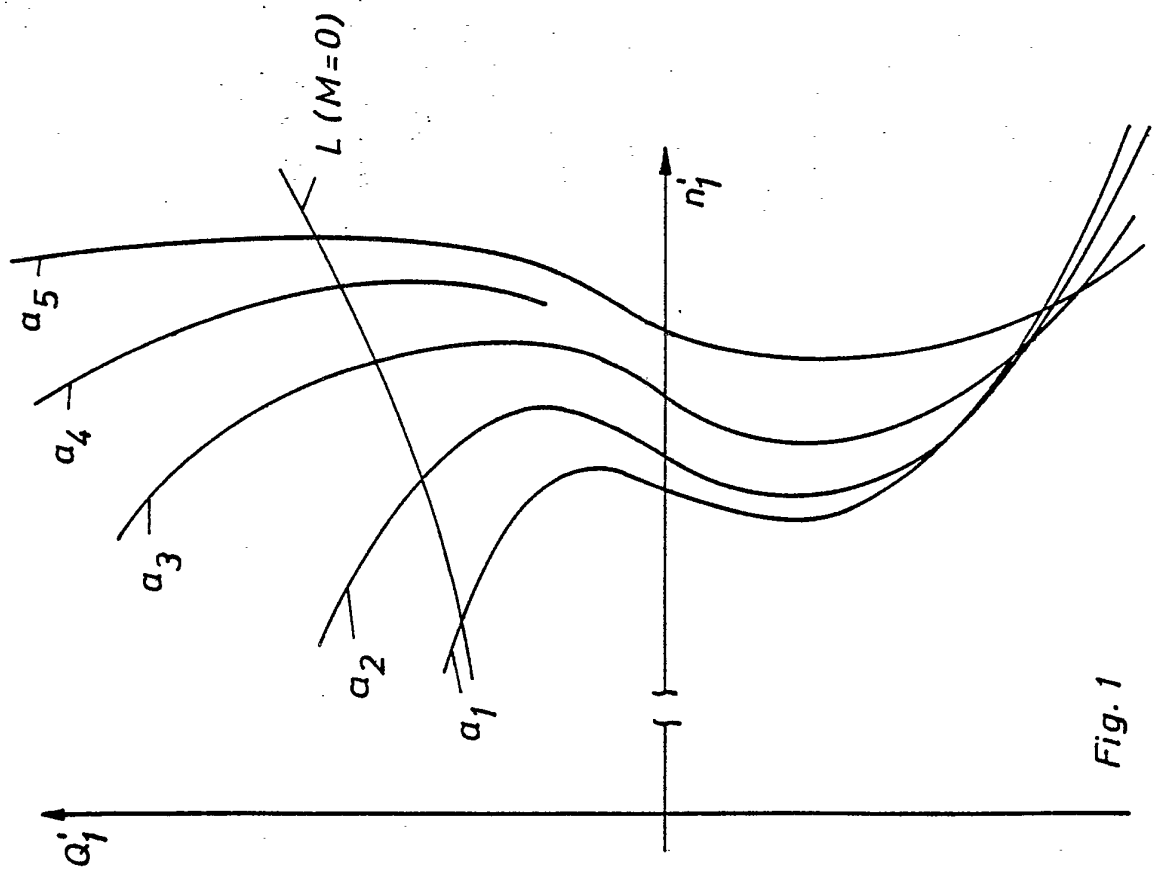


Fig. 1

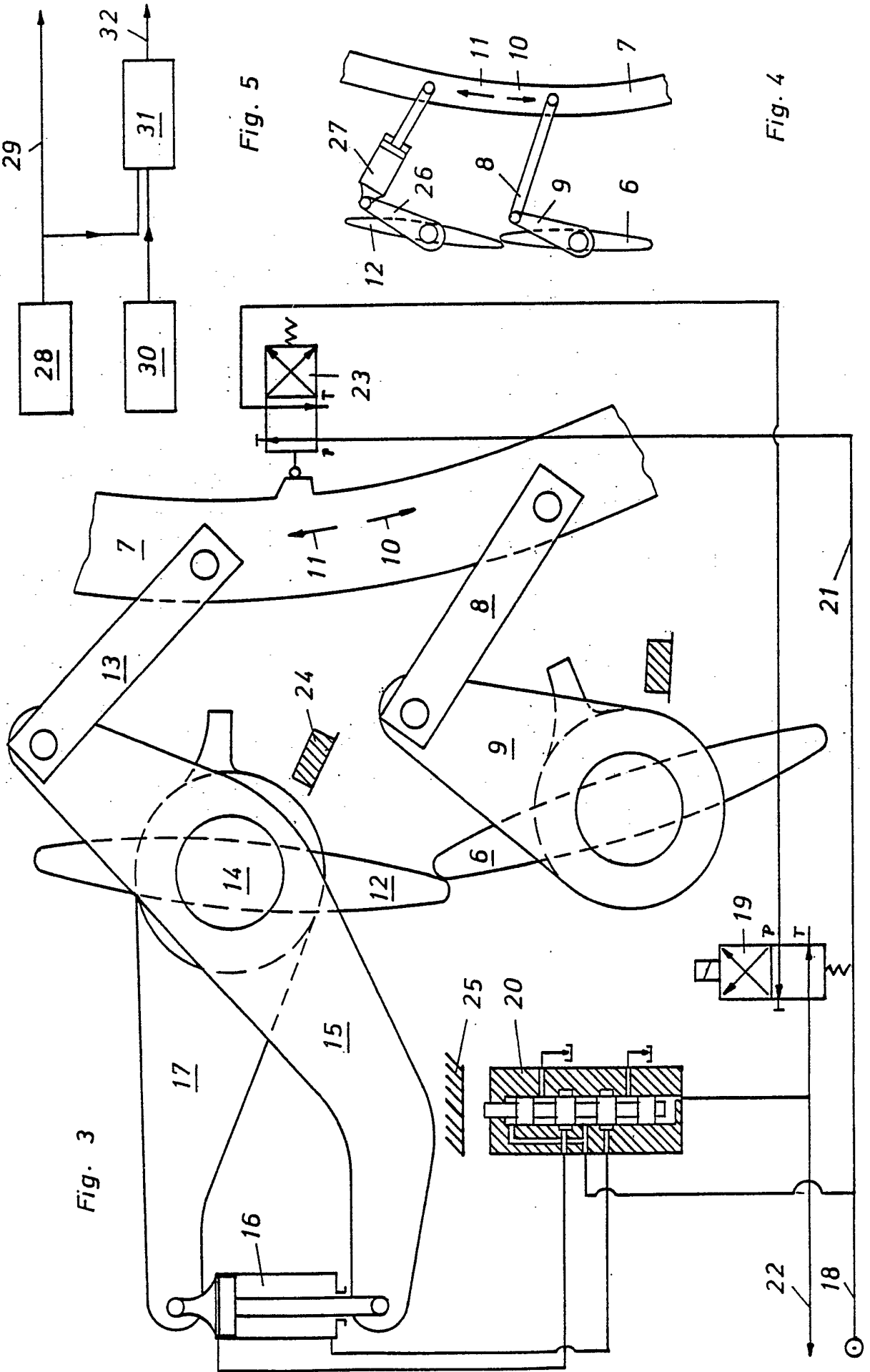


Fig. 3

Fig. 5

Fig. 4