



(10) **DE 10 2010 027 003 A1** 2012.01.19

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 027 003.2**

(22) Anmeldetag: **13.07.2010**

(43) Offenlegungstag: **19.01.2012**

(51) Int Cl.: **F03D 1/06 (2006.01)**

F03D 7/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 26129,
Oldenburg, DE**

(72) Erfinder:

**Peinke, Joachim, Prof.-Dr., 26125, Oldenburg, DE;
Neumeyer, Peter, Dipl.-Phys., 26129, Oldenburg,
DE**

(74) Vertreter:

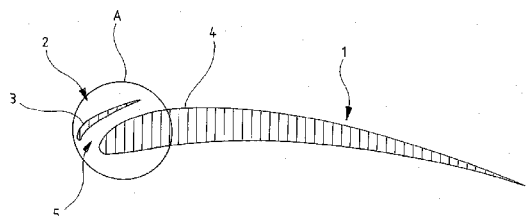
**Jabbusch Siekmann & Wasiljeff, 26131,
Oldenburg, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Rotor für eine Windenergieanlage und Verfahren zur Regelung des Rotors**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Rotor für eine Windenergieanlage mit einer Rotornabe, wenigstens einem über eine Blattwinkelverstellung mit der Rotornabe verbundenen Rotorblatt sowie einem am Rotorblatt luvseitig angeordneten Vorflügel, weist jeder Vorflügel eine kleinere Masse auf, als das ihm jeweils zugeordnete Rotorblatt. Jeder Vorflügel und das ihm jeweils zugeordnete Rotorblatt sind über eine Vorflügelwinkelverstellung zur Verstellung eines zwischen Vorflügel und Rotorblatt ausgebildeten Winkels miteinander verbunden. Dabei weist die Vorflügelwinkelverstellung wenigstens eine parallel zur Drehachse der Blattwinkelverstellung gelegene Drehachse auf. Zur fortwährenden Anpassung des Rotors an wechselnde Windgeschwindigkeiten wird der luvseitig an dem Rotorblatt des Rotors angeordnete Vorflügel verstellt. Dabei wird der Anstellwinkel jedes Vorflügels in Abhängigkeit des aktuellen Blattwinkels seines ihm zugeordneten Rotorblattes, in Abhängigkeit der aktuell vorherrschenden Windgeschwindigkeit sowie der aktuell vorherrschenden Rotordrehzahl fortwährend nachgestellt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Rotor für eine Windenergieanlage mit wenigstens einer Rotornabe, wenigstens einem mit der Rotornabe verbundenen Rotorblatt sowie einem am Rotorblatt luvseitig angeordneten Vorflügel. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur fortwährenden Anpassung des Rotors einer Windenergieanlage an wechselnde Windgeschwindigkeiten, bei der ein luvseitig an einem Rotorblatt des Rotors angeordneter Vorflügel verstellt wird.

[0002] Für einen leistungsorientierten Betrieb von Windkraftanlagen ist es bekannt, mit einer Blattwinkelverstellung den Anstellwinkel des Rotorblattes möglichst weitreichend und genau an die wechselnden Windgeschwindigkeiten anzupassen. Die Anstellwinkel werden zwischen der Anströmrichtung der das Rotorblatt anströmenden Luft und der Profilschneide des Rotorblattes gemessen. Die Blattwinkelverstellung hat jedoch den Nachteil, dass mit ihr insbesondere die im Rahmen besonders kleiner Zeitfenster ablaufenden Unstetigkeiten des Windes nicht ausregelbar sind, da die mit ihr erreichbaren Stellzeiten aufgrund der Massenträgheit des zu bewegenden Rotorblattes begrenzt sind. Auch können die Unstetigkeiten des Windes in Bezug auf die Länge eines Rotorflügels örtlich begrenzt sein, so dass eine Ausregelung derartiger Unstetigkeiten ebenfalls nicht möglich ist. Um zu verhindern, dass in derart kleinen Zeitfenstern auftretende Windböen oder örtlich begrenzte Windturbulenzen zu Strömungsabrissen an den Rotorblättern und damit zu schädlichen Spannungseinbrüchen an den Generatoren führen, werden bekannte Rotoren unter Inkaufnahme einer Wirkungsgradverschlechterung mit reduzierten Anstellwinkeln gefahren. Auch bei erfolgreicher Vermeidung von Strömungsabrissen führen die in kleineren Zeitfenstern ablaufenden Unstetigkeiten des Windes an den bekannten Windenergieanlagen stets zu häufigen Lastwechseln, folglich zu erhöhten Bauteilbelastungen an den Rotoren, Getrieben und Lagern und schließlich zu einer verringerten Lebensdauer dieser Anlagenteile. Dieser Nachteil macht sich kostenmäßig insbesondere bei den für Wartungs- und Reparaturmaßnahmen schwerer zugänglichen Offshore-Windenergieanlagen bemerkbar.

[0003] In der DE 31 17 995 A1 wurde bereits vorgeschlagen, ein Rotorblatt und einen Vorflügel) gelenkig miteinander zu verbinden und die Anstellwinkel des Vorflügels und des Rotorblattes in synchroner Weise um ihre Längsachsen zu verstellen. In der DE 40 14 685 A1 ist ein als Nasenklappe bezeichneter Vorflügel für ein Rotorblatt bekannt, der über Scharniere derart an dem Rotorblatt angelenkt ist, dass eine fliehkraftgesteuerte Auslenkbewegung des Vorflügels um eine quer zur Blattebene gestellte Drehachse erfolgt. Mit der Auslenkbewegung ist

effektiv eine Abstandsverstellung zwischen Vorflügel und Rotorblatt erreicht.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Rotor sowie ein Verfahren zum Regeln eines Rotors gemäß der eingangs genannten Gattungen aufzuzeigen, mit denen auch die in kleinen Zeitfenstern ablaufenden Unstetigkeiten des Windes ausgeregelt werden können.

[0005] Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß durch einen Rotor mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 und ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruches 11 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den jeweils auf diese Patentansprüche rückbezogenen Unteransprüchen angegeben.

[0006] Der erfindungsgemäße Rotor zeichnet sich dadurch aus, dass jeder Vorflügel) und das ihm jeweils zugeordnete Rotorblatt über eine Vorflügelwinkelverstellung miteinander verbunden sind, und dass die Vorflügelwinkelverstellung wenigstens eine etwa parallel zur Längsachse des Rotorblattes gelegene Drehachse aufweist.

[0007] Sowohl das Rotorblatt als auch der Vorflügel) weisen im Rahmen dieser Erfindung ein Tragflächenprofil auf, wobei der zwischen der Profilschneide des Vorflügels und der Profilschneide des dem Vorflügel) zugeordneten Rotorblattes ausgebildete Neigungswinkel über die Vorflügelwinkelverstellung in vorbestimmten Grenzen auf beliebige Werte einstellbar ist. Dabei stellt die Vorflügelwinkelverstellung einen zur Blattwinkelverstellung eigenständigen Verstellmechanismus dar, dessen Stellbewegungen jedoch absolut betrachtet von den Stellbewegungen der Blattwinkelverstellung überlagert sein können. Aufgrund der im Idealfall parallelen Anordnung der Drehachse der Blattwinkelverstellung zur Drehachse der Vorflügelwinkelverstellung ist der sich bei laufendem Rotor am Rotorblatt einstellende Anstellwinkel sowohl von der Einstellung der Blattwinkelverstellung als auch von der Einstellung der Vorflügelwinkelverstellung abhängig. Es versteht sich, dass die Drehachse der Blattwinkelverstellung aus technischen Gründen oder zur Anpassung an bestimmte Blattgeometrien auch von der parallelen Anordnung um einige Grad abweichen kann.

[0008] Durch die Ausregelung nachteiliger Strömungssituationen werden insbesondere auch harte Leistungssprünge vermieden, so dass sämtliche Bauteile der erfindungsgemäßen Windenergieanlage verringerten Beanspruchungen unterliegen. Derartige Beanspruchungen sind insbesondere die Drehmomentenbelastung der Rotorwelle oder die Biegemomentenbelastung auf die Blattwurzeln der Rotorblätter und den Turm. Damit stellt der Vorflügel) für das ihm zugeordnete Rotorblatt eine Art strömungs-

mechanischer Verstärker dar, mit welchem über kleine Stellwege große Veränderungen der am Rotorblatt vorherrschenden Anströmverhältnisse erzeugt werden können.

[0009] Bevorzugt weist jeder Vorflüge) eine kleinere Profiltiefe auf, als das ihm jeweils zugeordnete Rotorblatt. Der geringeren Profiltiefe des Vorflügels zufolge sind die mit der Vorflügelverstellung erreichbaren Stellzeiten aufgrund der ebenfalls verringerten Masse vorteilhaft kleiner als die mit der Blattwinkelverstellung erreichbaren Stellzeiten. Mit der luvseitigen Anordnung des Vorflügels ist dieser über die Vorflügelwinkelverstellung mittels kürzester Stellwege in der Lage, die an der Flügeloberseite des Rotorblattes auftretende Grenzschichtablösung in Richtung der Profilhinterkante des Rotorblattes zu verlagern und damit das Risiko eines am Rotorblatt auftretenden Strömungsabrisses nachhaltig herabzusetzen. Die kurzen Stellwege in Verbindung mit den kleinen Stellzeiten erlauben vorteilhaft auch das effektive Ausregeln der in den kleinen Zeitfenstern ablaufenden Unstetigkeiten des Windes. Folglich können sich aufgrund der in den kleinen Zeitfenstern ablaufenden Unstetigkeiten am Rotorblatt keine nachteiligen Strömungssituationen mehr ausbilden, so dass das Erfordernis für das sicherheitsbedingte Fahren der Rotoren mit reduzierten Anstellwinkeln und die damit verbundene Inkaufnahme verschlechterter Wirkungsgrade entfällt.

[0010] Nach einer Weiterbildung der Erfindung ist jedes Rotorblatt über eine Blattwinkelverstellung mit der Rotornabe verbunden, so dass die Drehachse der Vorflügelverstellung etwa parallel zur Drehachse der Blattwinkelverstellung ausgerichtet ist. Die Blattwinkelverstellung, die Bestandteil der bekannten Pitchregelung ist, dient der Leistungsbegrenzung bei hohen Windgeschwindigkeiten. Dazu werden die Rotorblätter des Rotors um ihre Längsachsen mechanisch, hydraulisch oder elektrisch verdreht.

[0011] Nach einer anderen Weiterbildung der Erfindung weist die Vorflügelwinkelverstellung wenigstens ein Drehschiebegelenk und wenigstens zwei dem Drehschiebegelenk zugeordnete Wegaufnehmer auf, wobei wenigstens einer der Wegaufnehmer der Drehführung des Drehschiebegelenkes und der jeweils andere Wegaufnehmer der Schiebeführung des Drehschiebegelenkes zugeordnet ist. Vorzugsweise ist der der Drehführung des Drehschiebegelenkes zugeordnete Wegaufnehmer im Bereich der Profilnase des Vorflügels derart angeordnet, dass er maximal auf eine am Vorflügel auftretende Druckpunktwanderung reagiert. Da eine in Richtung der Profilnase laufende Druckpunktwanderung schließlich mit dem am Rotorblatt eintretenden Strömungsabriss endet, ist die Druckpunktwanderung bevorzugte Kenngröße zur Feststellung kritischer Anstellwinkel des Rotorblattes. Der der Schiebeführung des Drehschie-

belagers zugeordnete Wegaufnehmer ist hingegen im Bereich der Hinterkante des Vorflügels angeordnet, so dass er mit einer maximal großen Auslenkung auf eine am Vorflügel angreifende Auftriebskraft reagiert. In manchen Ausführungsformen kann anstelle des Drehschiebegelenkes auch ein Schiebegelenk oder ein Drehgelenk eingesetzt werden. Da ein Anstieg der am Vorflüge) angreifenden Auftriebskraft die Folge eines Anstieges der Windgeschwindigkeit und schließlich die Folge eines Anstieges der der Rotordrehzahl ist, und der Anstieg der Rotordrehzahl schließlich die Gefahr eines am Rotorblatt eintretenden Strömungsabrisses verringert, ist die Auftriebskraft ebenfalls bevorzugte Kenngröße zur Feststellung kritischer Anstellwinkel des Rotorblattes. Eine Änderung der am Vorflüge) angreifenden Auftriebskraft bewirkt dann eine Änderung der Anströmverhältnisse derart, dass die Gefahr eines am Rotorblatt eintretenden Strömungsabrisses nachhaltig verringert ist. Damit wirken der auf die Auftriebskraft reagierende Wegaufnehmer und der auf die Druckpunktwanderung reagierende Wegaufnehmer, in Bezug auf den nachzuregelnden Neigungswinkel zwischen dem Vorflügel und dem ihm zugeordneten Rotorblatt, einander entgegen. Die Wegaufnehmer sind im einfachsten Fall mechanische Federn, so dass das Einanderentgegenwirken über eine entsprechende Anpassung der Federcharakteristiken an verschiedene Windgeschwindigkeiten darstellbar ist.

[0012] Nach einer nächsten Weiterbildung der Erfindung ist wenigstens der der Drehführung zugeordnete Wegaufnehmer als Federanordnung mit einer progressiven Federkennlinie ausgebildet. Die progressive Federkennlinie verhindert ein Durchschlagen des Vorflügels auf die dem Drehschiebegelenk zugeordneten Begrenzungsanschlüsse. Die Federanordnung ist beispielsweise eine auf Zug und Druck belastbare Schraubenfeder, wobei die Schraubenfeder sowohl druckseitig als auch zugseitig eine progressive Federkennlinie aufweist. Selbstverständlich kann die Federanordnung aus mehreren gleichen oder verschiedenartigen Federn, anderen elastischen Bauteilen oder aktiv steuerbaren Bauteilstrukturen zusammengesetzt sein.

[0013] Wenigstens der der Schiebeführung zugeordnete Wegaufnehmer ist indessen als eine Federanordnung mit einer unsteten Federkennlinie ausgebildet. Dabei dienen die in der unsteten Federkennlinie enthaltenen Unstetigkeiten der Ausbildung verschiedener Betriebsmodi für unterschiedliche Drehzahlbereiche des Rotors.

[0014] Um zu vermeiden, dass es im Übergangsbereich zwischen zwei Betriebsmodi durch eine Druckpunktwanderung zu labilen Schaltzuständen kommt, wird nach einer nächsten Weiterbildung der Erfindung vorgeschlagen, dass die die unstete Federkennlinie aufweisende Federanordnung an jeder ih-

rer Unstetigkeiten wenigstens einen Schwellwertauslöser aufweist. Mit einem derartigen Schwellwertauslöser ist verhindert, dass eine Druckpunktwanderung aufgrund einer in einem kleinen Zeitfenster auftretenden Unstetigkeit dazu führt, dass ein soeben mit der Rotordrehzahl erreichter Betriebsmodus wieder verlassen wird.

[0015] Nach einer anderen Weiterbildung der Erfindung weist der Rotor Strömungsmessensensoren zum Beispiel an den Flügelvorderkanten oder zwischen den Flügeln auf, insbesondere weist jeder Vorflügel) wenigstens einen Strömungsrichtungsmesser auf. Der Strömungsrichtungsmesser dient der Feststellung der tatsächlich vom Vorflügel) eingenommenen Anstellwinkel in Form von Istwerten. Diese sind bevorzugt für einen elektronischen Ist-Sollwertabgleich im Rahmen eines Regelungskreises geeignet. Vorzugsweise weist der Strömungsrichtungsmesser einzelne Strömungssensoren auf, die am Vorflügel) im Bereich seiner Profilnase angeordnet sind. Eine Weiterverarbeitung der durch den Ist-Sollwertabgleich erhaltenen Nachstellwerte erfolgt vorzugsweise in einem motorischen Stellantrieb, der insbesondere fester Bestandteil der Vorflügelverstellung ist.

[0016] Eine besonders präzise Ausregelung der in kleinen Zeitfenstern ablaufenden Unstetigkeiten kann dadurch erreicht werden, dass jeder Vorflügel), bezogen auf seine Flügellänge, aus mehreren Flügelsegmenten zusammengesetzt ist. Auf diese Weise kann über die Flügellänge des Rotorblattes veränderlichen physikalischen Größen bei der Ausregelung von Unstetigkeiten Rechnung getragen werden.

[0017] Vorzugsweise entspricht die Flügellänge jedes Vorflügels etwa der Flügellänge des Rotorblattes. In Abhängigkeit der für das Rotorblatt gewählten Flügelgeometrie kann es jedoch durchaus ausreichend sein, die Flügellänge des Vorflügels kleiner auszubilden, als die Flügellänge des Rotorblattes und den Vorflügel lediglich einem für Strömungsabrisse anfälligen Teilbereich des Rotorblattes zuzuordnen.

[0018] Die Flügelbreite jedes Vorflügels beträgt zwischen $\frac{1}{3}$ und $\frac{1}{8}$ der Flügelbreite des Rotorblattes. Bevorzugt beträgt die Flügelbreite jedes Vorflügels jedoch $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{6}$ der Flügelbreite des Rotorblattes. Mit einem derartigen Größenverhältnis weist der Vorflügel) deutlich kleinere Abmessungen als das Rotorblatt auf. Infolgedessen kommt dem Vorflügel weniger die Funktion einer Tragflächenverlängerung als vielmehr die Funktion einer Veränderung der Anströmcharakteristik des ihm zugeordneten Rotorblattes zu.

[0019] Eine besonders effiziente Beeinflussung der am Rotorblatt vorherrschenden Anströmcharakteristik ist dann erreicht, wenn zwischen jedem Vorflügel und dem ihm jeweils zugeordneten Rotorblatt ein ein-

fach gekrümmter, leeseitig verengter Strömungsspalt ausgebildet ist. Bei laufendem Rotor wird durch den Strömungsspalt hindurchströmende Luft beschleunigt, während der im Strömungsspalt vorherrschende Luftdruck gleichzeitig abnimmt und so die am Rotorblatt angreifende Auftriebskraft erhöht wird, ohne den Anstellwinkel des Rotorblattes über die träge reagierende Blattwinkelverstellung vergrößern zu müssen.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass der Anstellwinkel jedes Vorflügels in Abhängigkeit des aktuellen Blattwinkels eines Rotorblattes, in Abhängigkeit der aktuell vorherrschenden Windgeschwindigkeit und/oder in Abhängigkeit der aktuell vorherrschenden Rotordrehzahl fortwährend nachgestellt wird. Bevorzugt werden zwei oder ganz bevorzugt alle drei Größen berücksichtigt. Bei der Berücksichtigung des Blattwinkels wird bevorzugt in Abhängigkeit des Blattwinkels des dem Vorflügel zugeordneten Rotorblattes nachgestellt. Weiterhin werden bevorzugt auch die strömungsmechanischen Kräfte bei der Einstellung des Anstellwinkels berücksichtigt. Die Nachregelung erfolgt dabei mit dem Ziel, auch die in kleinen Zeitfenstern ablaufenden Unstetigkeiten des Windes auszuregulieren, um so dem Erfordernis für das sicherheitsbedingte Fahren des Rotors mit reduzierten Anstellwinkeln zu entgehen. Dabei führt das Fahren vergrößerter Anstellwinkel in Verbindung mit der Ausregelung der in kleinen Zeitfenstern auftretenden Unstetigkeiten insgesamt zu einer effizienten Wirkungsgradverbesserung bei der energetischen Ausnutzung des Windes. Eine automatische Erfassung des aktuellen Blattwinkels erfolgt vorzugsweise über wenigstens einen am Drehlager der Blatt-Winkelverstellung angeordneten Sensor, insbesondere einen Inkrementalgeber. Eine automatische Erfassung der aktuell vorherrschenden Windgeschwindigkeit erfolgt hingegen über ein bekannterweise am Gondelkopf der Windenergieanlage angeordnetes Anemometer. Die aktuell vorherrschende Rotordrehzahl wird beispielsweise mittels bekannter Einrichtungen am Antriebsstrang der Windenergieanlage gemessen.

[0021] Nach einer ersten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird auf Basis des aktuellen Blattwinkels, der aktuell vorherrschenden Windgeschwindigkeit sowie der aktuell vorherrschenden Rotordrehzahl ein optimaler Anstellwinkel selbsttätig errechnet. Der optimale Anstellwinkel stellt einen Sollwert dar, und dient vorzugsweise dem Ist-Sollwertabgleich in einem die fortwährende Nachstellung der Anstellwinkel des Vorflügels gewährleistenden Regelkreis. Die fortwährende Nachstellung der Anstellwinkel erfolgt vorzugsweise elektrisch.

[0022] Nach einer nächsten Weiterbildung der Erfindung wird über eine sensorische Erfassung der am Vorflügel) vorherrschenden Anströmverhältnisse ein aktueller Anstellwinkel festgestellt. Der aktuel-

le Anstellwinkel stellt vorzugsweise den für den Ist-Sollwertabgleich des Regelkreises erforderlichen Ist-Wert dar. Es liegt jedoch im Rahmen der Erfindung, den Anstellwinkel von einem zu den Vorflügeln beabstandeten gelegenen Ort aus zu messen. Hierzu geeignete Messsysteme sind unter LIDAR (Light Detection and Ranging) oder SODAR (Sonic Detection and Ranging) bekannt.

[0023] Nach einer besonders bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird vorgeschlagen, dass die aktuelle Rotordrehzahl indirekt über die am Vorflügel angreifenden Auftriebskräfte und der aktuelle Blattwinkel des Rotorblattes indirekt über den auf der Profில்sehne wandernden Druckpunkt mechanisch selbsttätig festgestellt wird. Dazu werden das Maß der Auftriebskräfte und das Maß der Druckpunktwanderung von Wegaufnehmern in Stellwege für die fortwährende Nachstellung des Anstellwinkels umgewandelt. Auf diese Weise ist eine mechanisch selbsttätige Nachstellung des Anstellwinkels geschaffen, deren Vorteil insbesondere darin liegt, dass auf aufwendige Datenübertragungs- und Datenverarbeitungssysteme verzichtet werden kann.

[0024] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung, aus dem sich weitere erfinderische Merkmale ergeben, ist in den Zeichnungen dargestellt. Es zeigen:

[0025] Fig. 1: einen Profilschnitt durch ein Rotorblatt eines erfindungsgemäßen Rotors;

[0026] Fig. 2: eine vergrößerte Einzelheit für die Einkreisung A in Fig. 1 in einem ersten Ausführungsbeispiel;

[0027] Fig. 3: eine vergrößerte Einzelheit für die Einkreisung A in Fig. 1 in einem zweiten Ausführungsbeispiel;

[0028] Fig. 4: die Einzelheit gemäß Fig. 3 in einer ersten Arbeitsstellung;

[0029] Fig. 5: die Einzelheit gemäß Fig. 3 in einer zweiten Arbeitsstellung;

[0030] Fig. 6: die Einzelheit gemäß Fig. 3 in einer dritten Arbeitsstellung;

[0031] Fig. 7: die Einzelheit gemäß Fig. 3 in einer vierten Arbeitsstellung;

[0032] Fig. 8: die Einzelheit gemäß Fig. 3 in einer fünften Arbeitsstellung;

[0033] Fig. 9: eine vergrößerte Einzelheit für die Einkreisung B in Fig. 3 in einer Arbeitsstellung gemäß den Fig. 6 und Fig. 7, und

[0034] Fig. 10: die Einzelheit gemäß Fig. 9 in einer Arbeitsstellung gemäß den Fig. 4, Fig. 5 und Fig. 8.

[0035] Die Fig. 1 zeigt einen Profilschnitt durch ein Rotorblatt **1** eines erfindungsgemäßen Rotors mit einem am Rotorblatt **1** luvseitig angeordneten Vorflügel **2**. Das Rotorblatt **1** und der Vorflügel **2** weisen jeweils ein Tragflächenprofil **3, 4** auf, wobei die Flügelbreite des Vorflügels **2** 18% der Flügelbreite des Rotorblattes **1** beträgt. Zwischen dem Vorflügel **1** und dem ihm zugeordneten Vorflügel **2** ist ein einfach gekrümmter, leeseitig verengter Strömungsspalt **5** ausgebildet.

[0036] Die Fig. 2 zeigt eine vergrößerte Einzelheit für die Einkreisung A in Fig. 1 in einem ersten Ausführungsbeispiel. In dieser Figur ist dargestellt, dass der Vorflügel **2** und das ihm zugeordnete Rotorblatt **1** über eine Vorflügelwinkelverstellung **6** miteinander verbunden sind. Diese weist einen am Rotorblatt **1** angeordneten Stellantrieb **7** mit einem Stellhebel **8** auf, der über eine Mitnehmerstange **9** an der Hinterkante **10** des Vorflügels **2** angelenkt ist. Außerdem weist die Vorflügelwinkelverstellung **6** ein zur Mitnehmerstange **9** beabstandetes gelegenes Drehlager **11** auf, über das der Vorflügel **2** schwenkbeweglich mit dem Rotorblatt **1** verbunden ist. Der Stellantrieb **7** ist über einen nicht dargestellten Prozessor an einen Strömungsrichtungsmesser **12** angeschlossen, der in der Profில்nase **13** des Vorflügels **2** angeordnet ist.

[0037] Die Fig. 3 zeigt eine vergrößerte Einzelheit für die Einkreisung A in Fig. 1 in einem zweiten Ausführungsbeispiel. Demnach sind der Vorflügel **2** und das ihm zugeordnete Rotorblatt **1** über eine Vorflügelwinkelverstellung **14** miteinander verbunden, welche ein Drehschiebegelenk **15** und zwei dem Drehschiebegelenk **15** zugeordnete Wegaufnehmer **16, 17** aufweist. Dabei ist der als Federanordnung ausgebildete Wegaufnehmer **16** der Drehführung des Drehschiebegelenkes **15** und der ebenfalls als Federanordnung ausgebildete Wegaufnehmer **17** der Schiebeführung des Drehschiebegelenkes **15** zugeordnet. Außerdem weist die Vorflügelwinkelverstellung **14** zwei der Drehführung des Drehschiebegelenkes **15** zugeordnete Begrenzungsanschlüsse **18, 19** auf.

[0038] Die Fig. 4 zeigt die Einzelheit gemäß Fig. 3 in einer ersten Arbeitsstellung innerhalb eines ersten Betriebsmodus für kleinere Rotordrehzahlen. Aufgrund einer für die momentane bzw. aktuelle Windgeschwindigkeit zu kleinen Rotordrehzahl erfährt der Vorflügel **2** nur geringe Auftriebskräfte, denen zufolge die Hinterkante **10** des Vorflügels **2** vom Wegaufnehmer **17** in eine untere Position gezogen wird. Außerdem ist die in der Fig. 4 dargestellte Arbeitsstellung durch einen kleinen Anstellwinkel des Rotorblattes **1** gekennzeichnet, so dass dem in Richtung der Hinterkante **10** verschobenen Druckpunkt zufolge der

Wegaufnehmer **16** die Profilnase **13** in eine untere Position hineinzieht.

[0039] Die Fig. 5 zeigt die Einzelheit gemäß Fig. 3 in einer zweiten Arbeitsstellung innerhalb des ersten Betriebsmodus für kleinere Rotordrehzahlen. Aufgrund einer für die momentane Windgeschwindigkeit zu kleinen Rotordrehzahl erfährt der Vorflüge) **2** hier ebenfalls nur geringe Auftriebskräfte, denen zufolge die Hinterkante **10** des Vorflügels **2** vom Wegaufnehmer **17** auch weiterhin in die untere Position gezogen wird. Die in der Fig. 5 dargestellte Arbeitsstellung unterscheidet sich von der in Fig. 4 dargestellten Arbeitsstellung jedoch durch einen kritisch vergrößerten Anstellwinkel des Rotorblattes **1**, so dass dem in Richtung der Profilnase **13** verschobenen Druckpunkt zufolge der Wegaufnehmer die Profilnase **13** in eine obere Position hineingeschwenkt hat.

[0040] Die Fig. 6 zeigt die Einzelheit gemäß Fig. 3 in einer dritten Arbeitsstellung innerhalb eines zweiten Betriebsmodus für höhere Rotordrehzahlen. Aufgrund einer für die momentane Windgeschwindigkeit zu hohen Rotordrehzahl erfährt der Vorflüge) **2** größere Auftriebskräfte, denen zufolge die Hinterkante **10** des Vorflügels **2** vom Wegaufnehmer **17** in eine obere Position hineingeschwenkt worden ist. In dieser Arbeitsstellung ist der Begrenzungsanschlag **18** erneut aktiv. Außerdem ist die in der Fig. 6 dargestellte Arbeitsstellung durch einen kleinen Anstellwinkel des Rotorblattes **1** gekennzeichnet, so dass dem in Richtung der Hinterkante **10** verschobenen Druckpunkt zufolge der Wegaufnehmer **16** die Profilnase **13** in eine untere Position hineinzieht, die der oberen Position gemäß Fig. 5 entspricht.

[0041] Die Fig. 7 zeigt die Einzelheit gemäß Fig. 3 in einer vierten Arbeitsstellung, innerhalb des zweiten Betriebsmodus für höhere Rotordrehzahlen. Aufgrund einer für die momentane Windgeschwindigkeit zu hohen Rotordrehzahl erfährt der Vorflüge) **2** hier ebenfalls größere Auftriebskräfte, denen zufolge die Hinterkante **10** des Vorflügels **2** vom Wegaufnehmer **17** in ihrer oberen Position verbleibt. Die in Fig. 7 dargestellte Arbeitsstellung unterscheidet sich zu der in Fig. 6 dargestellten Arbeitsstellung jedoch durch einen kritisch vergrößerten Anstellwinkel des Rotorblattes **1**, so dass dem in Richtung der Profilnase **13** verschobenen Druckpunkt zufolge der Wegaufnehmer **16** die Profilnase **13** in eine obere Position hineingeschwenkt hat.

[0042] Die Fig. 8 zeigt die Einzelheit gemäß Fig. 3 in einer fünften Arbeitsstellung innerhalb des ersten Betriebsmodus für kleinere Rotordrehzahlen. Die in der Fig. 8 dargestellte Arbeitsstellung unterscheidet sich von den in den Fig. 3 bis Fig. 7 dargestellten Arbeitsstellungen durch einen mittleren Anstellwinkel des Rotorblattes, so dass dem nur wenig in Richtung der Hinterkante **10** verschobenen Druckpunkt zufol-

ge der Wegaufnehmer **16** die Profilnase **13** in eine mittlere Position verschwenkt hat. In dieser Arbeitsstellung ist keiner der beiden Begrenzungsanschlüsse **18**, **19** aktiv.

[0043] Die Fig. 9 zeigt eine vergrößerte Einzelheit für die Einkreisung B in Fig. 3 in einer Arbeitsstellung gemäß den Fig. 6 und Fig. 7. In dieser Figur ist dargestellt, dass die Federanordnung **17** zur Herstellung einer unsteten Federkennlinie aus zwei unterschiedlichen Zugfedern **20**, **21** zusammengesetzt ist und dass die unterschiedlichen Zugfedern **20**, **21** über einen Schwellwertauslöser **22** miteinander verbunden sind. In der dargestellten Arbeitsstellung weist die Federanordnung **17** eine im Wesentlichen der Zugfeder **21** entsprechende Federkennlinie auf.

[0044] In der Fig. 10 ist die Einzelheit gemäß Fig. 9 in einer Arbeitsstellung gemäß den Fig. 4, Fig. 5 und Fig. 8 dargestellt. In der dargestellten Arbeitsstellung weist die Federanordnung **17** eine der Zugfeder **20** entsprechende Federkennlinie auf.

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 3117995 A1 [0003]
- DE 4014685 A1 [0003]

Patentansprüche

1. Rotor für eine Windenergieanlage mit einer Rotornabe, wenigstens einem mit der Rotornabe verbundenen Rotorblatt sowie einem am Rotorblatt luvseitig angeordneten Vorflügel, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder Vorflügel (2) und das ihm jeweils zugeordnete Rotorblatt (1) über eine Vorflügelwinkelverstellung (6, 14) zur Verstellung eines zwischen Vorflügel (2) und Rotorblatt (1) ausgebildeten Winkels miteinander verbunden sind, und dass die Vorflügelwinkelverstellung (6, 14) wenigstens eine parallel zur Längsachse des Rotorblattes gelegene Drehachse aufweist.

2. Rotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Vorflügel eine kleinere Profiltiefe aufweist, als das ihm jeweils zugeordnete Rotorblatt.

3. Rotor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Rotorblatt über eine Blattwinkelverstellung mit der Rotornabe verbunden ist.

4. Rotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorflügelwinkelverstellung (6) wenigstens ein Drehschiebegelenk (15) und wenigstens zwei dem Drehschiebegelenk (15) zugeordnete Wegaufnehmer (16, 17) aufweist, wobei wenigstens einer der Wegaufnehmer (16, 17) der Drehführung des Drehschiebegelenkes (15) und der jeweils andere Wegaufnehmer (16, 17) der Schiebeführung des Drehschiebegelenkes (15) zugeordnet ist.

5. Rotor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens der der Drehführung zugeordnete Wegaufnehmer (16) als Federanordnung mit einer progressiven Federkennlinie ausgebildet ist.

6. Rotor nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens der der Schiebeführung zugeordnete Wegaufnehmer (17) als Federanordnung mit einer unsteten Federkennlinie ausgebildet ist.

7. Rotor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die die unstete Federkennlinie aufweisende Federanordnung an jeder ihrer Unstetigkeiten wenigstens einen Schwellwertauslöser (22) aufweist.

8. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Vorflügel (2) wenigstens einen Strömungsrichtungsmesser (12) aufweist.

9. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Vorflügel (2), bezogen auf seine Flügellänge, aus mehreren Flügelsegmenten zusammengesetzt ist.

10. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Flügellänge jedes Vorflügels (2) etwa der Flügellänge des Rotorblattes (1) entspricht.

11. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 10 dadurch gekennzeichnet, dass die Flügelbreite jedes Vorflügels (2) 1/3 bis 1/8 der Flügelbreite des Rotorblattes (1) beträgt.

12. Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen jedem Vorflügel (2) und dem ihm jeweils zugeordneten Rotorblatt (1) ein einfach gekrümmter, leeseitig verengter Strömungsspalt (5) ausgebildet ist.

13. Verfahren zur fortwährenden Anpassung des Rotors einer Windenergieanlage an wechselnde Windgeschwindigkeiten, bei der ein luvseitig an einem Rotorblatt des Rotors angeordneter Vorflügel) verstellt wird, insbesondere zur fortwährenden Anpassung eines Rotors nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Anstellwinkel jedes Vorflügels (2) in Abhängigkeit des aktuellen Blattwinkels eines Rotorblattes (1), in Abhängigkeit der aktuell vorherrschenden Windgeschwindigkeit und/oder der aktuell vorherrschenden Rotordrehzahl fortwährend nachgestellt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass auf Basis des aktuellen Blattwinkels, der aktuell vorherrschenden Windgeschwindigkeit sowie der aktuell vorherrschenden Rotordrehzahl ein optimaler Anstellwinkel selbsttätig errechnet wird.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass über eine sensorische Erfassung der am Vorflügel (2) vorherrschenden Anströmverhältnisse ein aktueller Anstellwinkel festgestellt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die aktuelle Rotordrehzahl indirekt über die am Vorflügel (2) angreifenden Auftriebskräfte und der aktuelle Blattwinkel indirekt über den auf der Profilschne wandern den Druckpunkt mechanisch selbsttätig festgestellt wird.

17. Windenergieanlage mit einem Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 12, die insbesondere gemäß der Merkmale der Ansprüche 13 bis 16 gesteuert ist.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

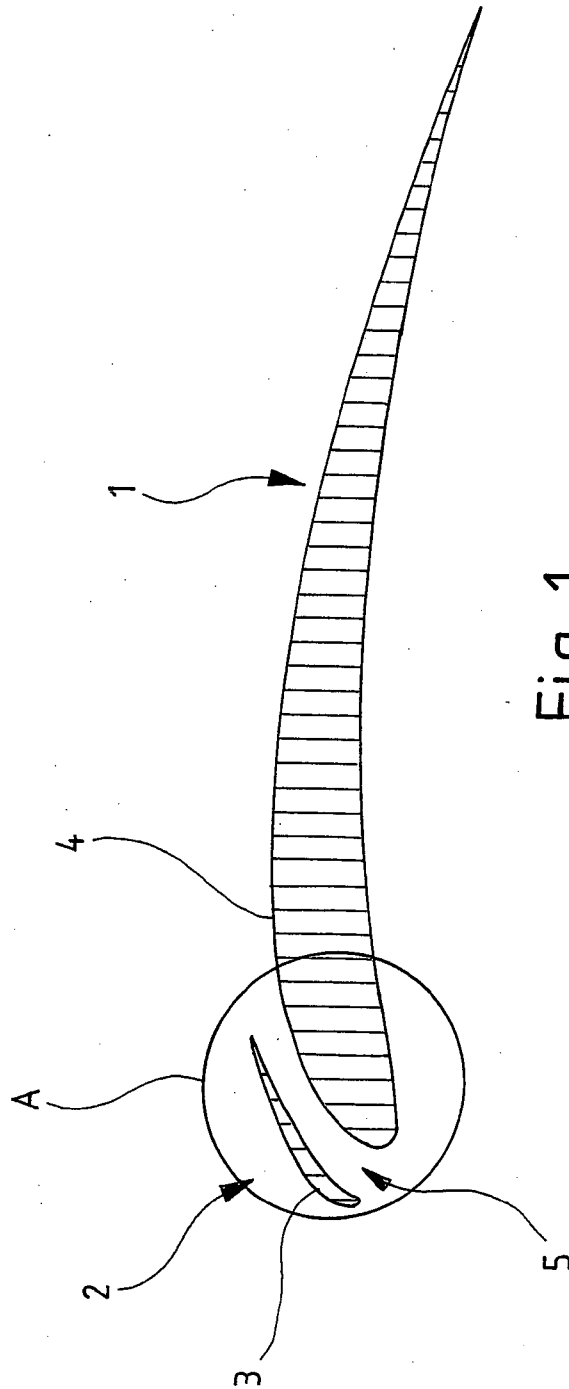


Fig. 1

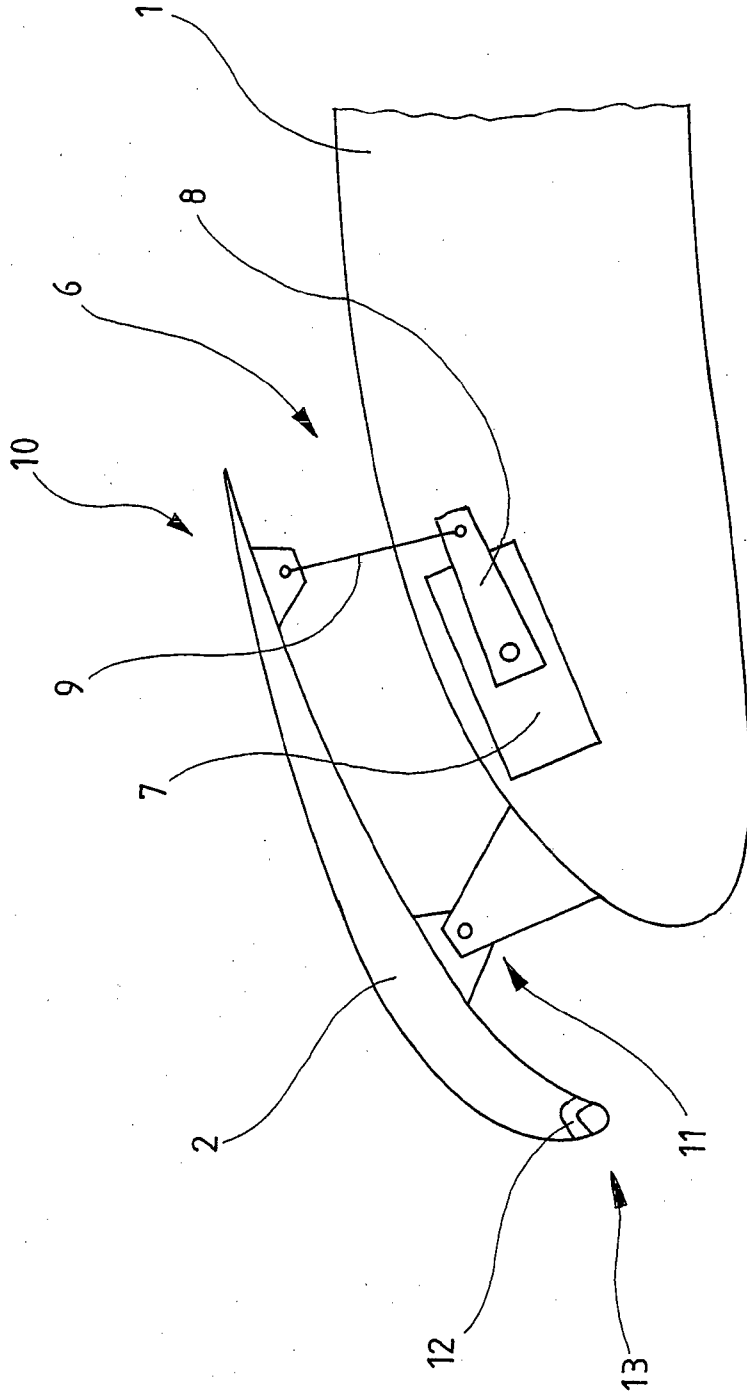


Fig. 2

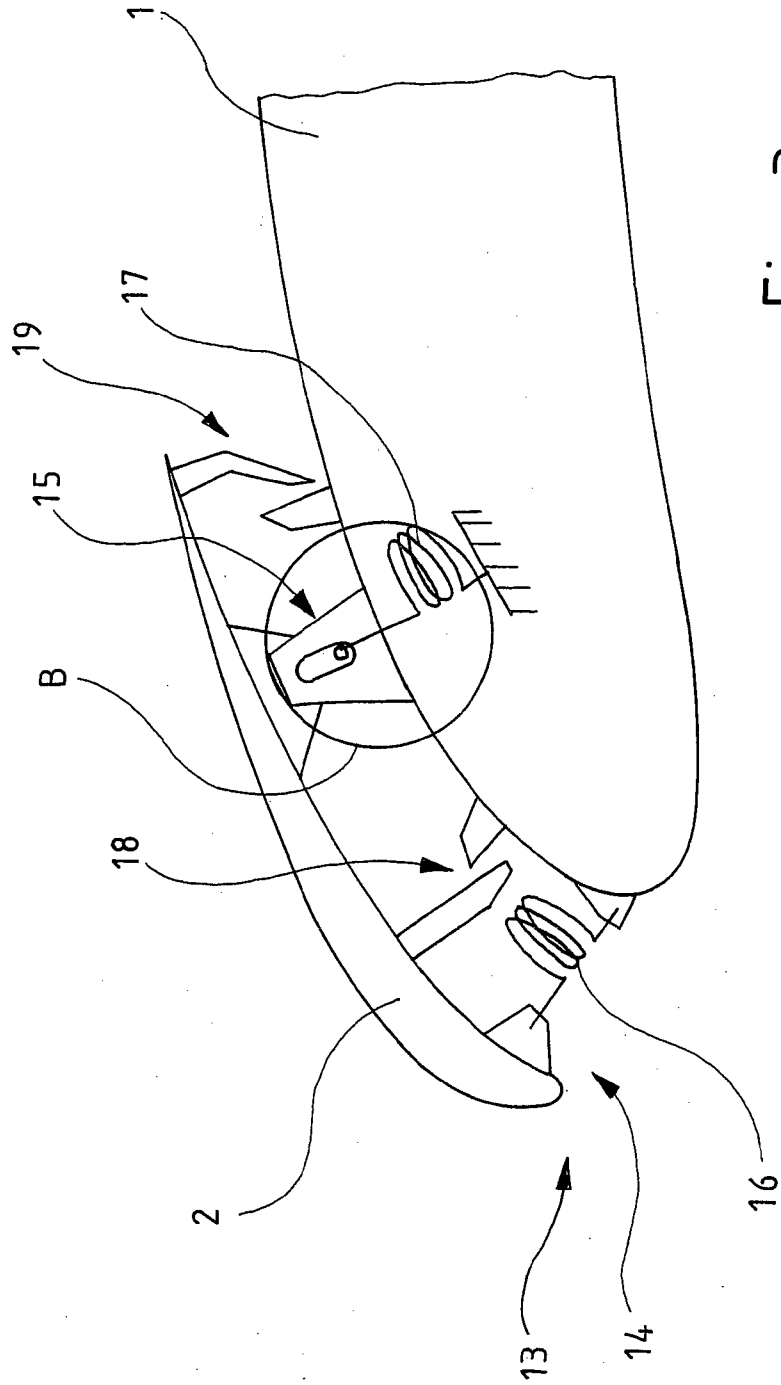


Fig. 3

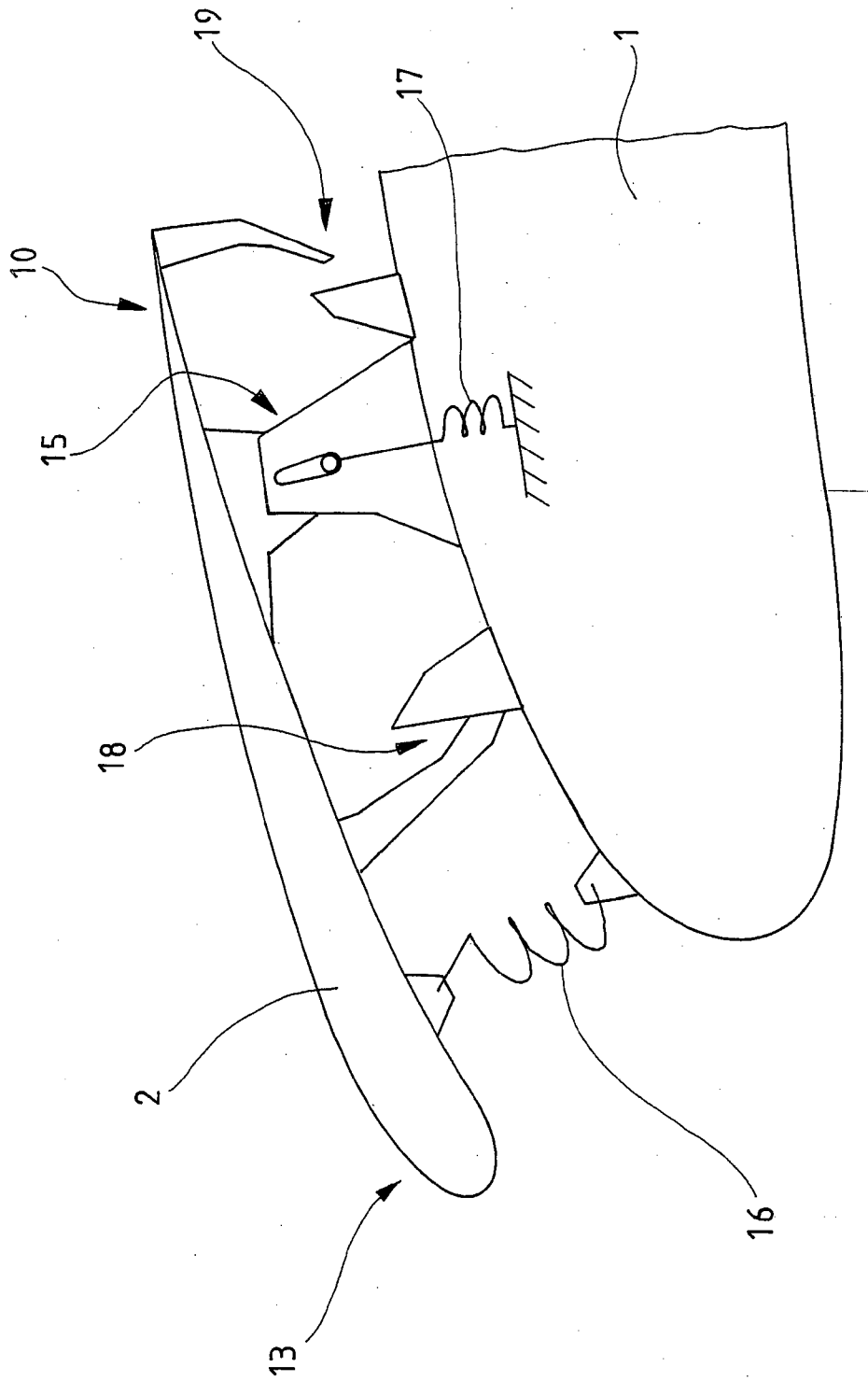


Fig. 4

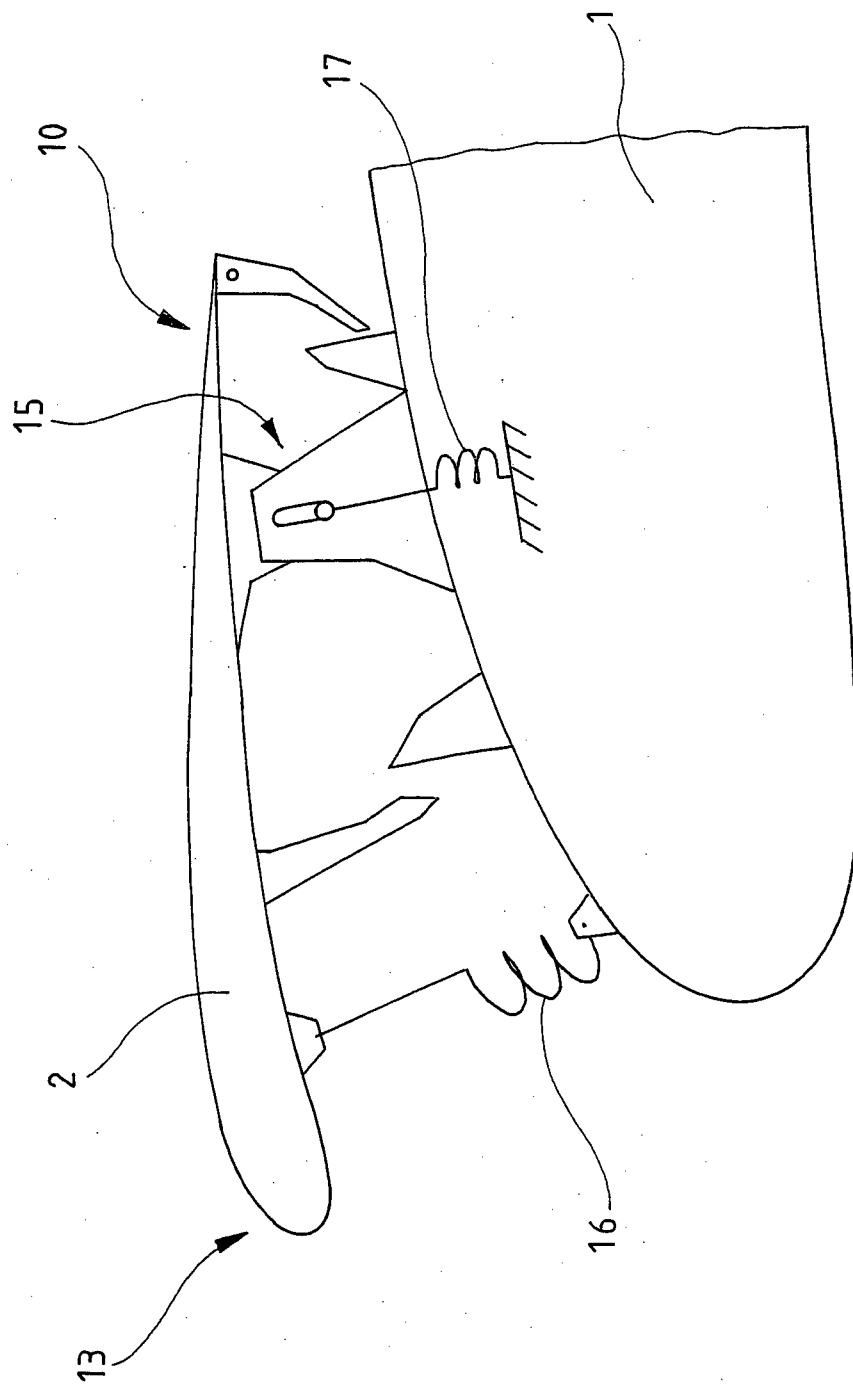


Fig. 5

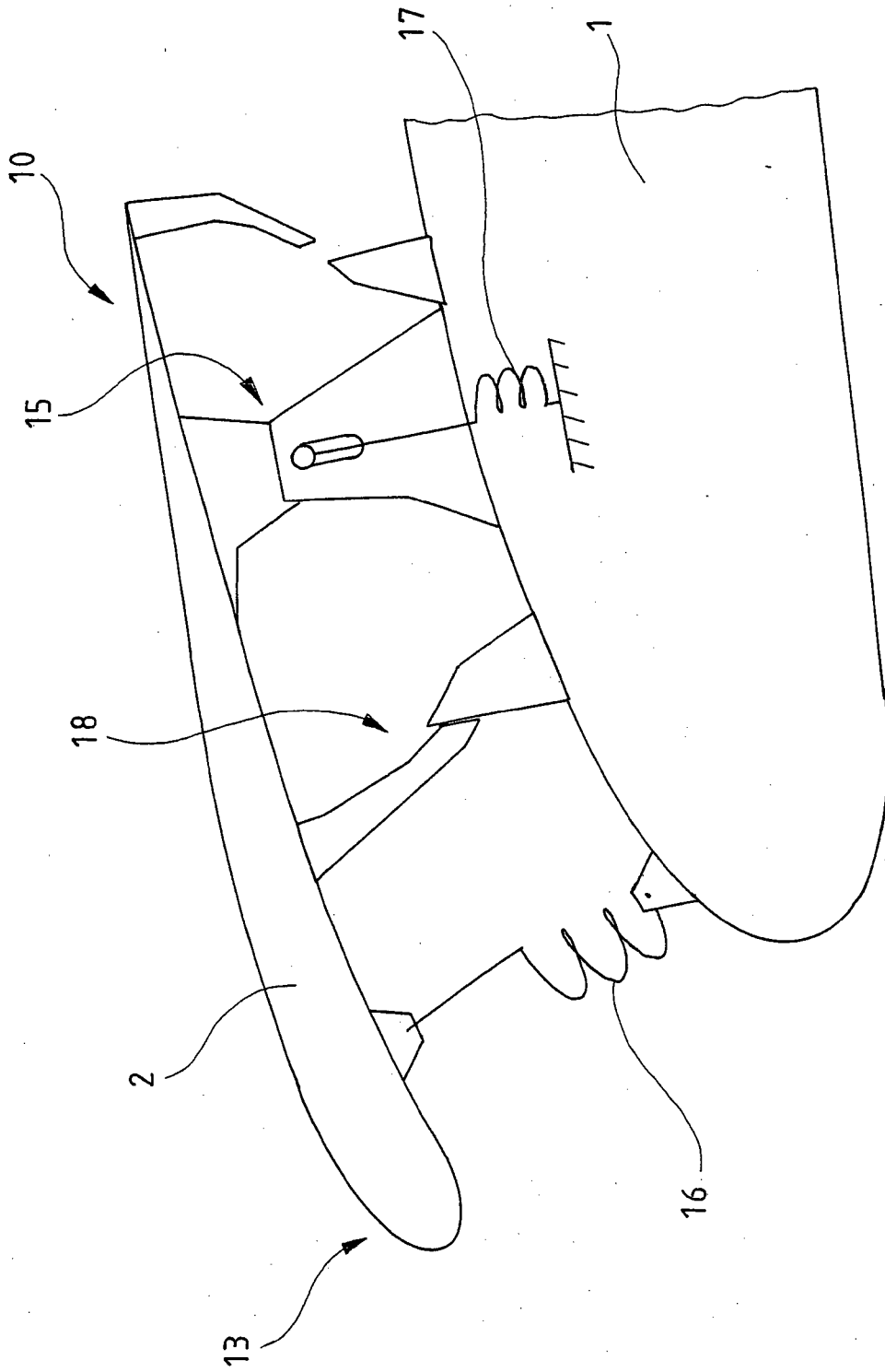


Fig. 6

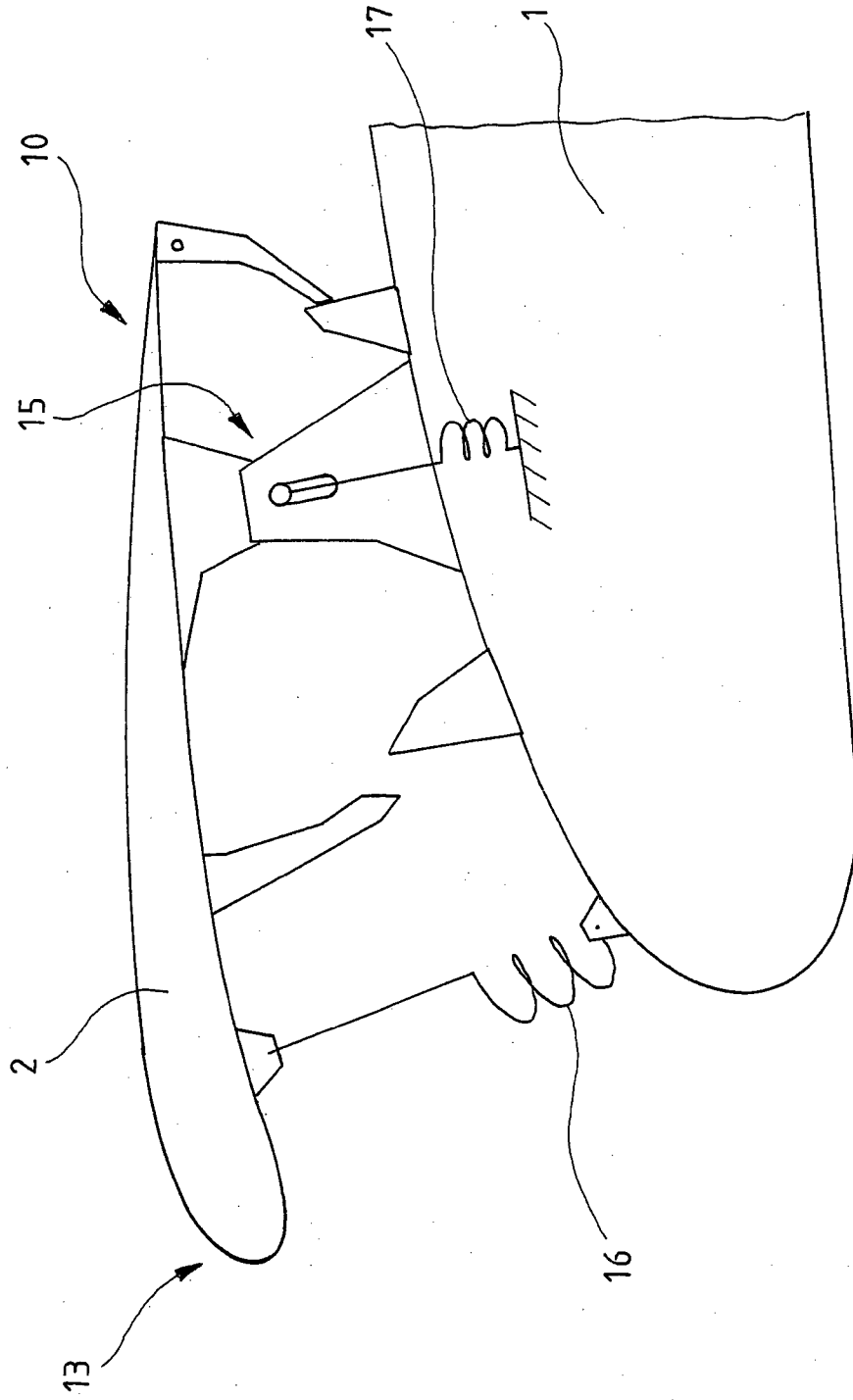


Fig. 7

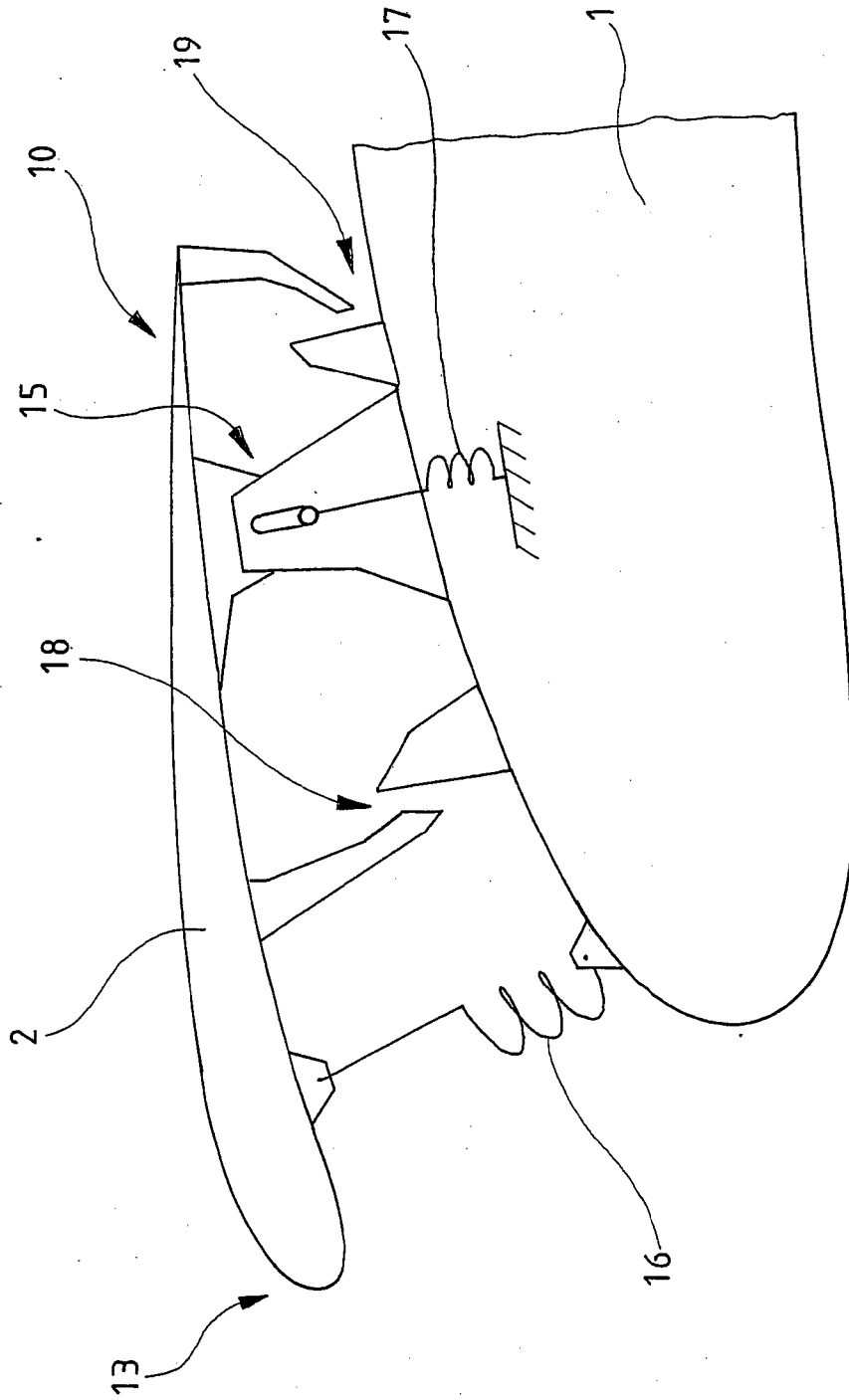


Fig. 8

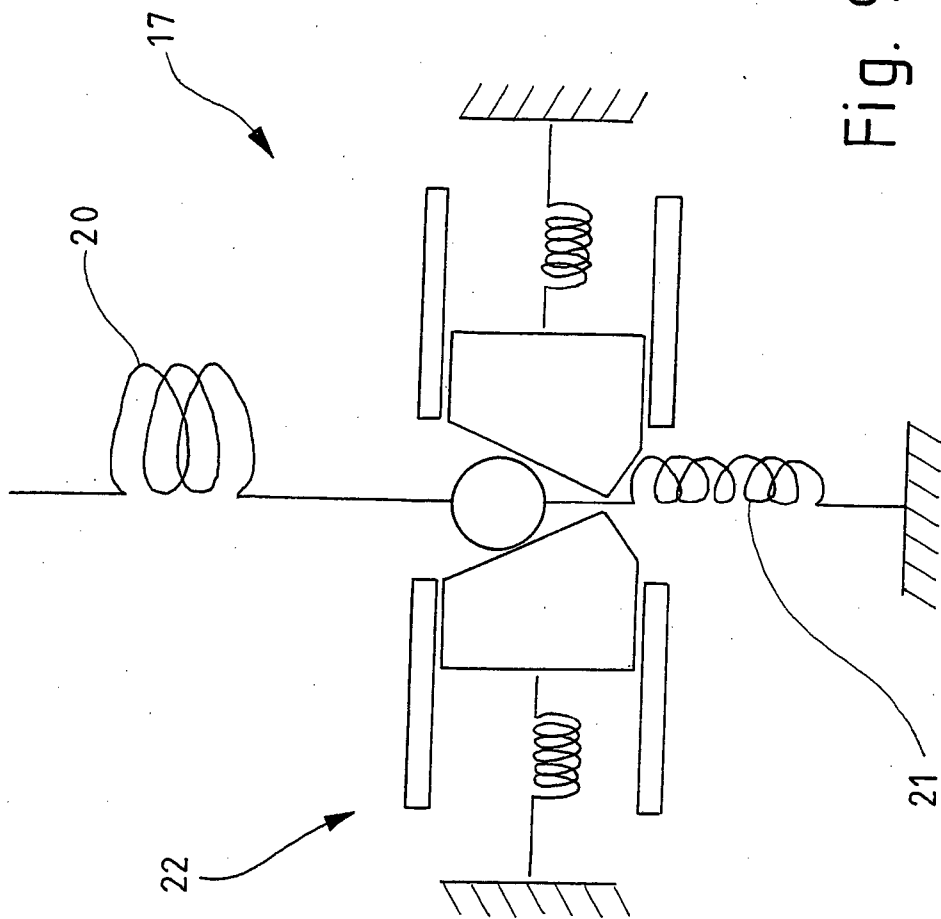


Fig. 9

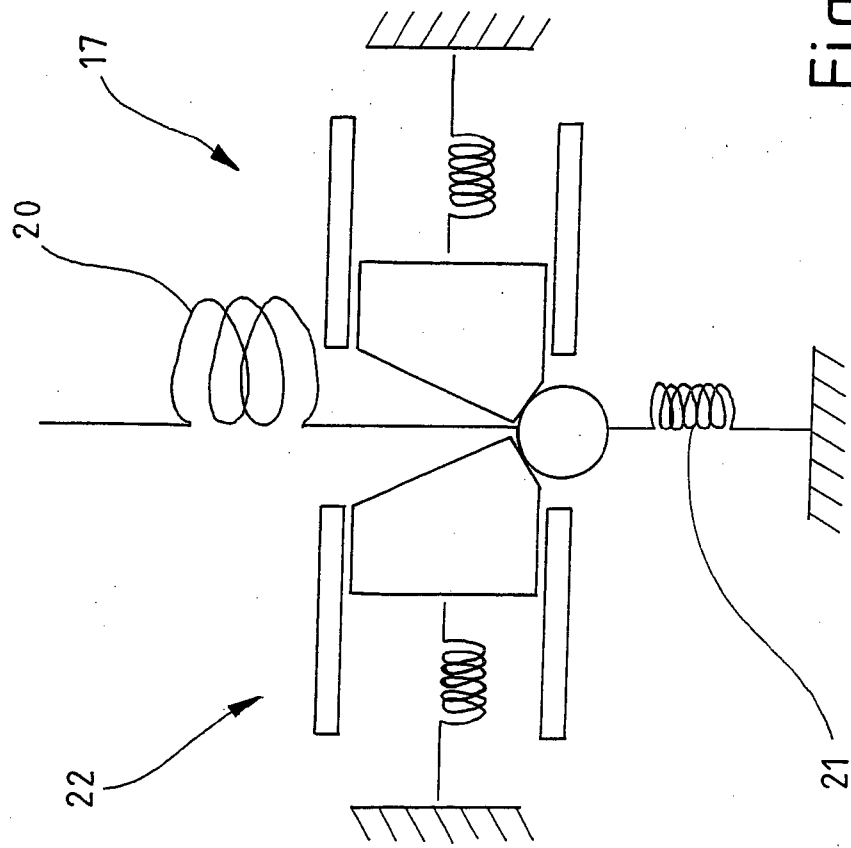


Fig. 10