



(10) **DE 10 2017 002 797 B3** 2018.06.28

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2017 002 797.8**  
(22) Anmeldetag: **20.03.2017**  
(43) Offenlegungstag: –  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **28.06.2018**

(51) Int Cl.: **F03D 3/06 (2006.01)**  
**F03B 7/00 (2006.01)**  
**F03B 17/06 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

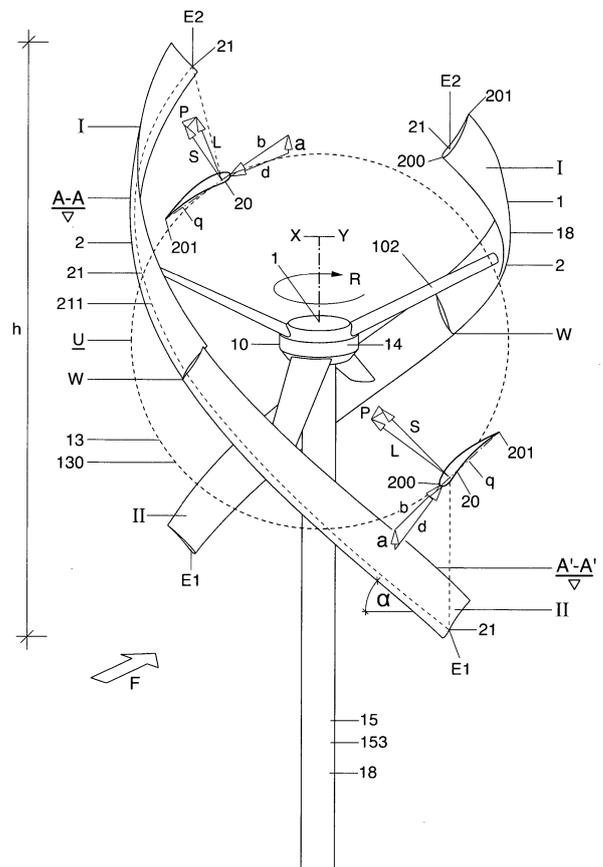
(73) Patentinhaber:  
**Grimm, Friedrich, 70376 Stuttgart, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**siehe Folgeseiten**

(72) Erfinder:  
**gleich Patentinhaber**

(54) Bezeichnung: **STRÖMUNGSKONVERTER MIT MINDESTENS EINEM WENDEFLÜGEL**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Strömungskonverter (1) mit einer vertikal oder horizontal angeordneten, ortsfesten Drehimpulsachse (X) und mindestens einem Rotor (10) mit einer Rotationsachse (Y), der dazu ausgebildet ist, mittels von mindestens einem Flügel die in einer Strömung (F) enthaltene kinetische Energie in eine Drehbewegung mit Drehrichtung (R) und mittels eines Generators (14) in elektrischen Strom zu wandeln. Der Flügel definiert mit gleichbleibenden oder wechselnden radialen Abständen zu der Rotationsachse (Y) des Rotors (10) eine Umlaufbahn (U) und hat im Querschnitt ein mit der Flügelnahe (200) in Drehrichtung (R) ausgerichtetes, asymmetrisches Flügelprofil (20) mit einer Saug- und einer Druckseite und ist mit seiner Profilsehne (q) tangential zu der Umlaufbahn (U) ausgerichtet und erstreckt sich dabei zwischen zwei Endpunkten (E1, E2) über eine Höhe (h) entlang einer Druckpunktlinie (21). Der Flügel ist als Wendeflügel (2) ausgebildet und weist ein erstes Flügelsegment (I), dessen Saugseite auf der Außenseite der Umlaufbahn (U) liegt, sowie ein zweites Flügelsegment (II), dessen Saugseite auf der der Rotationsachse (Y) zugewandten Innenseite der Umlaufbahn (U) liegt, auf, wobei die Druckpunktlinie (21) einen zwischen den Endpunkten (E1, E2) angeordneten mittleren Wendepunkt (W) hat, an dem die Saugseite der Flügelsegmente (I, II) von der Außenseite zu der Innenseite der Umlaufbahn (U) wechselt, sodass die aus den Auftriebskräften (L) der ...



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	33 04 944	A1
DE	38 25 241	A1
DE	10 2011 117 631	A1
US	7 726 934	B2
US	9 267 490	B1
US	2008 / 0 095 608	A1
US	2008 / 0 267 777	A1
US	2009 / 0 309 365	A1
US	2010 / 0 278 653	A1
US	2010 / 0 322 770	A1
US	2011 / 0 280 708	A1
US	2012 / 0 091 726	A1
US	2013 / 0 183 164	A1
US	5 405 246	A
EP	0 065 778	A2

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Strömungskonverter mit einer horizontal oder vertikal angeordneten ortsfesten Drehimpulsachse und mindestens einer Rotationsachse, der dazu ausgebildet ist, mittels von asymmetrischen Flügelprofilen die in einer Wind- oder Wasserströmung enthaltene kinetische Energie in eine Drehbewegung zu wandeln. Die asymmetrischen Flügelprofile sind einem Wendeflügel zugeordnet, der mit einem radialen Abstand zu der Rotationsachse des Rotors eine Umlaufbahn definiert. Eine erste Reihe von Ausführungsbeispielen der Erfindung betrifft Strömungskonverter mit einer gemeinsamen Drehimpuls- und Rotationsachse, während bei einer zweiten Reihe von Ausführungsbeispielen der Erfindung die ortsfeste Drehimpulsachse und die Rotationsachse als separate Achsen ausgebildet sind. Erfindungsgemäß wird ein Rotor des Strömungskonverters von einem Wendeflügel, der aus einem ersten und einem zweiten Flügelsegment jeweils mit einem asymmetrischen Flügelprofil aufgebaut ist und mit einem radialen Abstand zu der Rotationsachse des Rotors auf einer Umlaufbahn läuft, angetrieben. Während die Saugseite des ersten Flügelsegments auf der Außenseite der Umlaufbahn liegt, wechselt die Saugseite des zweiten Flügelsegments an dem mittleren Wendepunkt des Wendeflügels auf die Innenseite der Umlaufbahn.

## Stand der Technik

**[0002]** Strömungskonverter mit einer vertikalen Rotationsachse sind als sog. Darrieus-Rotoren nach ihrem Erfinder benannt und haben im Vergleich zu Strömungskonvertern mit einer horizontalen Rotationsachse den großen Vorteil, dass sie unabhängig von der jeweiligen Strömungsrichtung arbeiten. Dabei sind die Rotorblätter mit einem radialen Abstand zu der Rotationsachse angeordnet und haben ein symmetrisches Flügelprofil. Ausgehend von dem Betz'sehen Gesetz, das für die Nutzung der in einer Strömung gespeicherten kinetischen Energie eine theoretische Obergrenze von knapp 60% feststellt, erreichen herkömmliche Vertikalachsrotoren nur einen Wirkungsgrad von etwa 30% bis maximal 45%, während der maximale Wirkungsgrad bei Horizontalachsrotoren mit einem asymmetrischen Flügelprofil bei etwa 50% liegt. Bei einem Vertikalachsrotor addieren sich die von den Rotorblättern bewirkten Sogkräfte zu einer sehr hohen leeseitig wirksamen Schubkraft, die von der Tragkonstruktion aufgenommen werden muss. Darüber hinaus können periodisch auftretende Lastwechsel zu Schwingungen führen, die insbesondere bei größeren Turbinen schwer zu beherrschen sind.

**[0003]** Bei bekannten, um eine horizontale Drehachse rotierenden Windturbinen sind in der Regel drei in einem Winkel von 120 Grad radial voneinander beabstandete und über einen Rotorkopf mit der Nabe verbundene Rotorblätter vorgesehen. Auch hier bewirken die Rotorblätter sehr hohe luvseitig wirksame Schubkräfte, die von dem Mast der Windkraftanlage aufgenommen werden müssen. Ein am Baugrund eingespannter Mast mit einem Azimutlager an seinem oberen Ende nimmt die an der Windturbine leeseitig wirkende Schubkraft auf und trägt sie in den Baugrund ab. Dieses Tragwerk, bei dem sowohl der Mast, als auch die Rotorblätter als biegebeanspruchte Tragglieder ausgebildet sind, gelangt ab einer Nabenhöhe von etwa 150 m an eine strukturell bedingte Obergrenze. Im Jahr 2014 betrug die installierte Leistung bei der Windenergie 38.115 MW. Diese Leistung, die zurzeit etwa 20% des deutschen Strombedarfs auf nur 0,75% der Landfläche erbringt, kann in Zukunft selbst bei Einhaltung restriktiver Flächennutzungskriterien auf über 60% des deutschen Strombedarfs (390 TWh/a) gesteigert werden. Die größten Einzelanlagen, wie z.B. die Enercon E126, haben eine Nennleistung von 7.580 kW bei einem Rotordurchmesser von 127 m und einer Nabenhöhe von 135 m. Das bedeutet, dass für den weiteren Ausbau der Windenergie auch zukünftig eine große Anzahl von Einzelanlagen - im Jahr 2014 waren es bereits 24.864 Anlagen - erforderlich sein wird. Es ist daher wünschenswert, die Leistung einer einzelnen Windkraftanlage zu vervielfachen, um die Anzahl der Windkraftanlagen zu begrenzen. Der Ausbau der Windenergie stößt in der Bevölkerung auf Widerstand überall dort, wo die Windturbinen in unmittelbarer Nähe zu Wohngebieten aufgestellt werden. Beklagt werden einerseits die Lärmentwicklung durch Schlaggeräusche, die von den am Mast vorbeilaufenden Rotorblättern hervorgerufen werden und andererseits optische Beeinträchtigungen durch den dynamischen Schattenwurf der Rotorblätter und die unübersehbare Drehbewegung des Rotors.

**[0004]** Mit vorwiegend biegezug- und biegedruckbeanspruchten Bauteilen haben herkömmliche Windkraftanlagen heute eine strukturell bedingte Obergrenze erreicht und erreichen nicht die Effizienz, die mit alternativen, vorwiegend normalkraftbeanspruchten Tragstrukturen möglich wäre. Als eine der effizientesten Leichtbaukonstruktionen gilt ein Speichenrad, bei dem ein Druckring über zugbeanspruchte Speichen mit einer Nabe verbunden ist. Radkonstruktionen mit einem Durchmesser von bis zu 200 m werden heute als Riesenräder mit Gondeln für Passagiere an attraktiven Aussichtsstandorten aufgestellt und zeichnen sich durch eine filigrane Stahlkonstruktion aus. Der sog. High Roller in Las Vegas z.B. ist eine Speichenradkonstruktion mit 158,50 m Durchmesser, bei der der Druckring aus einem Stahlrohr von nur 2m Durchmesser besteht, das von 112 an einer Nabe angreifenden Spannseilen stabilisiert wird.

**[0005]** Die sowohl bei Windturbinen mit vertikaler, als auch bei Windturbinen mit horizontaler Rotationsachse auftretenden, hohen Schubkräfte verhindern bisher die Realisierung von der Kreisform abweichender Umlaufkurven an den Rotorblättern, die einen günstigeren Anströmwinkel der Rotorblätter ermöglichen würden. Die Kraft der Fließgewässer wird in Deutschland viel zu wenig genutzt und gerät überall dort in Konflikt mit dem Naturschutz, wo der Ausbau der Flüsse mit Laufwasserkraftwerken an Wehren, Schleusen und Dämmen die natürliche Umgebung zu sehr beeinträchtigt. Eine weitere weitgehend ungenutzte Energiequelle stellen Meeresströmungen dar. Erste Pilotanlagen und bestehende Gezeitenkraftwerke zeigen das hohe Potential dieser Energiequelle.

**[0006]** Aus der US 2010/0 322 770 A1 geht eine Turbine insbesondere mit vertikaler Rotationsachse hervor deren Rotorblätter, jeweils ein symmetrisches Flügelprofil aufweisen dessen aerodynamische Eigenschaften in einem ersten Längsabschnitt durch eine Ausnehmung auf der Außenseite und in zweiten Längsabschnitt durch einen Ausnehmung auf der Innenseite der Umlaufbahn verändert werden. Diese Ausnehmungen sollen, einerseits das Anlaufen des Rotors erleichtern soll und andererseits eine Begrenzung der Rotordrehzahl ermöglichen. Innerhalb eines Rotorblatts wechseln die Ausnehmungen von der Innenseite auf die Außenseite der Umlaufbahn.

**[0007]** Aus der US 2010/0 278 653 A1 geht eine Turbine mit vertikaler Rotationsachse und deren Herstellung hervor. Im Sinne eines wirtschaftlichen Herstellungsverfahrens ist ein Rotorblatt aus zwei geraden, in sich verwundenen Blattsegmenten aufgebaut und weist an einem mittleren Stoßpunkt einen Knick auf. **Fig. 2** zeigt die Druckpunktlinie eines Rotorblatts, die so angeordnet ist, dass trotz der gerade ausgebildeten Blattsegmente ein möglichst gleichmäßiger Abstand zur Rotationsachse gewahrt bleibt, wobei an dem mittleren Stoßpunkt der beiden Blattsegmente ein Knick in der Druckpunktlinie vorgesehen ist.

**[0008]** Aus der US 2012/0 091 726 A1 geht ein Strömungskonverter mit einer Vielzahl von geraden Rotorblättern hervor, die an eine vertikale Rotationsachse angelenkt sind. Die Rotorblätter sind jeweils asymmetrisch ausgebildet und weisen ein Profil auf, dessen Saugseite zur Rotationsachse ausgerichtet ist.

**[0009]** Aus der DE 10 2011 117 631 A1 geht eine Windkraftanlage mit vertikaler Rotationsachse hervor, bei der die aerodynamisch wirksamen Flügel ein statisch wirksames Netzgitter aus Dreiecksmaschen bilden.

**[0010]** Aus der DE 38 25 241 A1 geht ein Darrieus-Rotor hervor, bei dem das Rotorblatt einen lastabtragenden Kern und eine darauf aufgesetzte aerodynamisch wirksame Schale aufweist, wobei der lastabtragende Kern auch von einem Stahlseil gebildet werden kann.

**[0011]** Aus der US 2008/0 095 608 A1 geht eine Windturbine mit vertikaler Rotationsachse hervor, bei der die einheitlich profilierten Rotorblätter an einem Gelenkarm gelagert sind, der ein Verkippen der Rotorblätter ermöglicht, sodass sich der Abstand der Rotorblätter zur Rotationsachse während eines Umlaufs ändert.

**[0012]** Aus der US 2008/0 267 777 A1 geht eine Windturbine mit vertikaler Rotationsachse hervor, deren Rotorblätter durch Zugseile gehalten werden und die in einer Reihe von Ausführungsbeispielen an ihrer Basis ein Fahrgestell mit einer kreisförmigen Schiene aufweist. Aus der US 2009/0 309 365 A1 geht eine Wasserturbine mit einer horizontalen Rotationsachse hervor, deren Rotor in der Art eines Darrieus-Rotors arbeitet, wobei die Rotorblätter über radiale Tragarme mit einer ortsfesten Drehimpulsachse verbunden sind.

**[0013]** Aus der DE 33 04 944 A1 geht eine Windturbine hervor, deren Strömungsfangblätter mit radialen Tragflügelprofilen verbunden sind, wobei der Rotorumlauf durch ein Kreiselement stabilisiert wird.

#### Aufgabenstellung

**[0014]** Ausgehend von dem dargestellten Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, für die Anordnung der Flügel eines Strömungskonverters ein System anzugeben, mit dem ein stetiges Drehmoment an der Drehimpulsachse erzielt werden kann, um unerwünschte Lastwechsel zu vermeiden und um die Widerstandskräfte zu reduzieren. Es ist insbesondere die Aufgabe der Erfindung, einen Strömungskonverter anzugeben, bei dem sich die aus den Auftriebskräften der Flügel resultierenden Sogkräfte gegenseitig weitgehend kompensieren, während sich die tangentialen Antriebskräfte addieren. Dabei sollen an einem Strömungskonverter mit einer horizontal oder vertikal angeordneten Drehimpulsachse die von den Flügeln bewirkten Kräfte so geordnet werden, dass sich die luvseitigen und die leeseitigen Sogkräfte ausgleichen, sodass der Rotorschub auf ein Minimum reduziert wird. Die Neuordnung der strömungsdynamischen Kräfte erlaubt es, bei Strömungskonvertern mit voneinander getrennten Drehimpuls- und Rotationsachsen von der Kreisform

abweichende, vorteilhafte Umlaufkurven für die Flügel zu ermöglichen. Außerdem soll durch die Reduktion der strömungsdynamischen Lasten das Tragwerk eines Strömungskonverters entlastet werden.

**[0015]** Diese Aufgabe wird mit den im Anspruch 1 genannten Merkmalen der Erfindung gelöst. Weitere Aufgaben und vorteilhafte Eigenschaften der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

#### Ausbildung und Funktion der Wendeflügel

**[0016]** Ein asymmetrisches Flügelprofil bewirkt unter Anströmung eine um 30% erhöhte Auftriebskraft im Vergleich zu einem symmetrischen Flügelprofil. Ein Wendeflügel besteht aus einem ersten und einem zweiten Flügelsegment und weist im Querschnitt ein asymmetrisches Flügelprofil auf, das mit seiner sich von der Flügel-nase bis zur Flügelhinterkante erstreckenden Profilschneide tangential zu der Umlaufbahn des Wendeflügels um die Rotationsachse des Rotors ausgerichtet ist und dessen Druckpunktlinie sich über eine Höhe zwischen zwei Endpunkten erstreckt. An einem mittleren Wendepunkt wechselt die Saugseite des ersten Flügelsegments von der Außenseite der Umlaufbahn, in dem zweiten Flügelsegment auf die Innenseite der Umlaufbahn. Dieser Wechsel der Orientierung des asymmetrischen Flügelprofils ermöglicht eine Umkehrung der Auftriebskräfte von der Außenseite der Umlaufbahn auf die Innenseite der Umlaufbahn, sodass sich die aus dem Auftrieb resultierenden Sogkräfte gegenseitig kompensieren und sich die ebenfalls aus dem Auftrieb resultierenden tangentialen Antriebskräfte addieren. Die Druckpunktlinien der um eine Rotationsachse kreisenden Wendeflügel definieren eine Rotationsfläche, die z.B. als Zylinderfläche, als Rotationshyperboloid, als Rotationsparaboloid, als Kugelschichtfläche oder als Ringtorus ausgebildet sein kann. Dabei definiert eine Druckpunktlinie als Gerade die in Drehrichtung einen tangentialen Neigungswinkel hat ein Rotationshyperboloid, während eine Druckpunktlinie, die als Kurve ebenfalls mit einem tangentialen Neigungswinkel ausgebildet ist, eine Zylinder- oder eine Kugelschichtfläche definiert. Liegt die Druckpunktlinie eines Wendeflügels auf der Oberfläche eines ovalen Zylinders und verbindet dabei als Diagonale einen Hauptscheitel der ovalen Grundfläche mit dem gegenüberliegenden Hauptscheitel der ovalen Deckfläche des ovalen Zylinders oder verbindet eine Druckpunktlinie die Grund- und Deckflächen eines virtuellen Prismas mit geraden oder gewölbten Seitenflächen, ist von Bedeutung, dass das erste Flügelsegment in Drehrichtung vorausläuft und das zweite Flügelsegment in Drehrichtung nachläuft, sodass, bezogen auf die gesamte Flügeloberfläche zwischen den Endpunkten des Wendeflügels, das erste Flügelsegment mit seiner Druckseite nach innen und das zweite Flügelsegment mit seiner Druckseite nach außen bewegt werden. Die dabei involvierte Schubgeschwindigkeit verbessert den Anströmwinkel.

**[0017]** Druckpunktlinien mit einem gegensinnigen Neigungswinkel durchdringen einander und bilden ein Netz auf der Rotationsfläche. Dabei kann eine Mehrzahl von Druckpunktlinien jeweils an ihren Endpunkten untereinander verbunden werden, sodass im Falle eines Ringtorus eine Endlosschleife gebildet wird. Überkreuzen sich eine Mehrzahl von Endlosschleifen mit einem gegensinnigen tangentialen Neigungswinkel, entsteht ein Netz auf der Oberfläche des Ringtorus. Aus der Verbindung einer Mehrzahl von Wendeflügeln untereinander wird eine biege-, schub- und torsionssteife Gitterschale gebildet, die im Falle eines Strömungskonverters als Windturbine mit horizontaler Rotationsachse den äußeren Druckring eines Speichenrads bildet. Das von den Druckpunktlinien einer Mehrzahl von Wendeflügeln gebildete Netz kann aber auch als Seilnetz ausgebildet werden und trägt erste und zweite Flügelsegmente, die jeweils als Profilschalen ausgebildet sind und eine Flügelkette bilden. Die Unterteilung des Wendeflügels in ein erstes Flügelsegment, dessen Saugseite auf der Außenseite der Umlaufbahn liegt, und in ein zweites Flügelsegment, dessen Saugseite auf der Innenseite der Umlaufbahn liegt, ermöglicht an einem Rotor mit mindestens einem Wendeflügel eine Bilanz der Auftriebskräfte, bei der sich die von den Flügelsegmenten bewirkten Sogkräfte gegenseitig kompensieren und sich die antreibenden Kräfte addieren. Mit einer Mehrzahl von Wendeflügeln wird dadurch ein stetiges und gleichmäßiges Drehmoment an der Drehimpulsachse eines Strömungskonverters ermöglicht. Lastwechselreaktionen, die z.B. bei größeren Windkraftanlagen mit vertikaler Rotationsachse zu unerwünschten Schwingungen führen, können auf diese Weise vermieden werden. Unabhängig davon, ob die Drehimpulsachse eines Strömungskonverters vertikal oder horizontal angeordnet ist, ist die Erfindung immer dann erfüllt, wenn sich luv- und leeseitige Sogkräfte gegenseitig weitgehend kompensieren. Bei Strömungskonvertern mit vertikaler Drehimpulsachse entfällt der leeseitige Schub vollständig, sodass Umlaufbahnen für die Wendeflügel realisiert werden können, die aus der Überlagerung der Drehbewegung eines Wendeflügels um die Rotationsachse des Rotors mit der Drehbewegung des Rotors um die Drehimpulsachse resultieren und durch ein Enger- und Weiterziehen der Umlaufkurven gekennzeichnet sind. Dabei wird eine radiale Schubgeschwindigkeit immer an einem der beiden Flügelsegmente eines Wendeflügels aktiviert, die den Anströmwinkel der aus der Strömungsgeschwindigkeit und den Umlaufgeschwindigkeiten des Wendeflügels um die Rotationsachse und um die Drehimpulsachse sowie aus einer radialen Schubgeschwindigkeit resultiert, so beeinflusst, dass sehr große tangentiale Antriebskräfte entstehen, die ein erhöhtes Drehmoment an der Drehimpulsachse bewirken.

## Strömungskonverter mit gemeinsamer Drehimpuls- und Rotationsachse

**[0018]** Eine erste Reihe von Ausführungsbeispielen der Erfindung betrifft Strömungskonverter mit einer gemeinsamen Drehimpuls- und Rotationsachse, bei denen die Wendeflügel mit gleichbleibenden oder wechselnden radialen Abständen um eine Rotationsachse laufen, wobei die Umlaufbahn eine Rotationsfläche definiert. In einer besonders vorteilhaft Ausführungsvariante sind die Wendeflügel jeweils an ihrem mittleren Wendepunkt biegesteif mit einem radialen Tragarm verbunden, der als Auftrieb erzeugendes Rotorblatt ausgebildet ist und an seinem nabenseitigen Ende an eine konzentrisch und koaxial zu der vertikalen Drehimpulsachse angeordneten Nabe angelenkt ist. Auf diese Weise wird ein Wendeflügel und das Auftrieb erzeugende Rotorblatt einem gefesselten Steig- und Sinkflug unterworfen, sodass die Anströmung der Flügelsegmente des Wendeflügels und des Rotorblatts in den unterschiedlichen Phasen des gefesselten Steig- und Sinkflugs durch eine radiale Schubgeschwindigkeit an jeweils einem der beiden Flügelsegmente positiv beeinflusst wird. Dabei gilt, dass während des Steigflugs das erste Flügelsegment zur Drehimpulsachse hin bewegt wird und das zweite Flügelsegment von der Drehimpulsachse weg bewegt wird, wodurch die Anströmung beider Flügelsegmente durch eine radiale Schubgeschwindigkeit verbessert wird. Auf die Rotorblätter dagegen wirkt sich der Steigflug verzögernd aus. Im Sinkflug wirken die als radiale Tragarme ausgebildeten Rotorblätter antreibend, während die antreibende Wirkung der Flügelsegmente im Sinkflug nachlässt. Dabei können die Flugphasen durch pneumatisch oder hydraulisch betriebene Steuerelemente so gesteuert werden, dass in jeder Umlaufposition eines Wendeflügels resultierende, tangentiale Antriebskräfte den Rotor antreiben.

**[0019]** Eine Ausführungsvariante der Erfindung betrifft Windturbinen mit einer horizontalen Rotations- und Drehimpulsachse, bei denen jeweils eine Mehrzahl von Wendeflügeln entweder mit dem äußeren Druckring eines Speichrads verbunden sind oder den äußeren Druckring eines Speichenrads bilden. Dabei ist der äußere Druckring eines Speichenrads als laminar umströmter Ringflügel dazu ausgebildet, die Strömung luvseitig von der Rotationsachse weg und leeseitig zur Rotationsachse hin zu lenken. Der Ringflügel weist ein asymmetrisches Flügelprofil auf, dessen Profilhöhe parallel zu der Rotationsachse der Windturbine angeordnet ist. Eine Mehrzahl von Wendeflügeln erstreckt sich jeweils mit einem tangentialen Neigungswinkel in Drehrichtung von Luv nach Lee und ist an dem mittleren Wendepunkt mit dem Ringflügel verbunden. Die von dem ersten Flügelsegment bewirkten Sogkräfte wirken auf der Außenseite der Umlaufbahn, während die von dem zweiten Flügelsegment bewirkten Sogkräfte auf der Innenseite der Umlaufbahn wirksam sind und sich deshalb gegenseitig weitgehend kompensieren. Die tangentialen Antriebskräfte resultieren aus einem Anströmwinkel, der als Konuswinkel sowohl luv- als auch leeseitig wirksam ist.

**[0020]** In einer besonders vorteilhaften Ausführungsvariante wird der Druckring des Speichrads von einer Mehrzahl von Wendeflügeln gebildet, die jeweils an ihren Endpunkten untereinander zu Endlosschleifen verbunden sind und einander mit einem gegensinnigen tangentialen Neigungswinkel durchdringen, wobei der Druckring einen von einer Gitterschale gebildeten Ringtorus aufweist. Dieser Ringtorus besteht aus zwei Halbschalen, die jeweils an den Endpunkten eines Wendeflügels am innen- und außenseitigen Scheitel des Ringtorus untereinander verbunden sind. Die von den Wendeflügeln gebildete Gitterschale wird von der Strömung sowohl umströmt als auch durchströmt. Während der rotativ wirkende Anströmwinkel in der luvseitigen Hälfte der Gitterschale aus der vektoriellen Addition der Strömungsgeschwindigkeit und der Umlaufgeschwindigkeit sowie aus der Umlenkung der Strömung abgeleitet ist, wird der Anströmwinkel in der leeseitigen Hälfte der Gitterschale ausschließlich aus der Strömungsgeschwindigkeit und der Umlaufgeschwindigkeit abgeleitet.

## Strömungskonverter mit getrennter Drehimpuls- und Rotationsachse

**[0021]** Eine zweite Reihe von Ausführungsbeispielen der Erfindung betrifft Strömungskonverter, bei denen die Drehimpulsachse und eine oder mehrere Rotationsachsen jeweils als separate Achsen ausgebildet sind. Im Falle eines Strömungskonverters, bei dem drei Wendeflügel auf einer quadratischen Umlaufbahn um eine Rotationsachse laufen, ist ein spezielles Drehlager vorgesehen, bei dem die Wendeflügel jeweils mit den Ecken eines Rollkörpers in Form eines Reuleaux-Dreiecks verbunden sind, das in einer quadratischen Lagerschale mit gerundeten Ecken umläuft, wobei die im Schwerpunkt des Reuleaux-Dreiecks liegende Rotationsachse mit einem Versatz zu der Drehimpulsachse angeordnet ist. Die Verbindung zwischen der Rotationsachse und der Drehimpulsachse kann z.B. durch zwei Kardangelenke überbrückt werden.

**[0022]** Im Falle eines Rotors, der als gefesselter Kreisel eine selbsttätige oder gesteuerte regelmäßige Nutation durchläuft, ist die Rotationsachse über ein Kardangelenk mit einer vertikalen Drehimpulsachse verbunden. Bei diesem als Kreisel bezeichneten Rotor ist das Kardangelenk im Schwerpunkt eines Speichenrads angeordnet, dessen Speichen zum Beispiel von filigranen Zugstäben gebildet werden, wobei der äußere Druckring des Speichenrads als Schwungmasse die Nutation anregt. Das erste und das zweite Flügelsegment eines

Wendeflügel sind jeweils mit dem Druckring verbunden. Die Nutation des Kreisels, die auch als reguläre Präzession bezeichnet werden kann, bewirkt an den Flügelsegmenten jeweils radiale Schubgeschwindigkeiten, die den Anströmwinkel jeweils an einem der beiden Flügelsegmente deutlich verbessern. Die Bewegung des Kreisels kann durch pneumatische oder hydraulische Steuerelemente unterstützt bzw. angeregt werden.

**[0023]** Für die Trennung von Drehimpuls- und Rotationsachse bietet ein Planetengetriebe besondere Vorteile. Besteht das Planetengetriebe aus einem Hohlrads und einem oder mehreren Planetenrädern, kreist ein Planetenrad oder ein Planetenträger zugeordneter Rotor gleichzeitig um seine Rotationsachse und um die ortsfeste Drehimpulsachse. Aus der Überlagerung der beiden Drehbewegungen wird eine Hypozykloide als Umlaufkurve für einen Wendeflügel gebildet, deren periodisch wechselnde Abstände zu der Drehimpulsachse mit einer radialen Schubgeschwindigkeit verbunden sind, die sich positiv auf den Anströmwinkel jeweils eines Flügelsegments auswirkt. Dies ist immer dann der Fall, wenn das erste Flügelsegment auf der Hypozykloide zur Innenseite gezogen wird und wenn das zweite Flügelsegment auf der Hypozykloide nach Außen geschoben wird. Umkreisen dagegen eine Mehrzahl von Planetenrädern ein feststehendes Sonnenrad, ist die Drehachse eines Planetenrads zugleich die Rotationsachse eines Rotors, der mindestens einen Wendeflügel besitzt. Aus der Überlagerung der Drehbewegung des Wendeflügels um die Rotationsachse und der Drehbewegung der Rotationsachse um die ortsfeste Drehimpulsachse im Zentrum des feststehenden Sonnenrads entsteht eine Epizykloide als Umlaufkurve für den Wendeflügel. Auch hier wird die Anströmung der Flügelsegmente durch eine radiale Schubgeschwindigkeit an mindestens einem Flügelsegment so beeinflusst, dass vergleichsweise große tangentialer Antriebskräfte entstehen. Diese Umlaufkurven können, je nach dem Verhältnis des Durchmessers eines Planetenrads zu dem Durchmesser des Hohlrads, als Hypozykloide bzw. als Hypotrochoide oder als Verhältnis des Durchmessers eines Planetenrads zu dem Durchmesser des Sonnenrads, als Epizykloide bzw. als Epitrochoide, unterschiedlichste Formen annehmen.

#### Steuerung und Drehzahlbegrenzung

**[0024]** Strömungskonverter, deren Wendeflügel auf einer Hypozykloide oder eine Epizykloide die Drehimpulsachse umrunden, sind von dem Planetengetriebe so gesteuert, dass eine radiale Schubgeschwindigkeit den Anströmwinkel der Flügelsegmente eines Wendeflügels positiv beeinflusst. Sie benötigen keine zusätzlichen Steuerungselemente. Bei einem als Kiesel ausgebildeten Rotor oder bei einem Strömungskonverter, bei dem die Wendeflügel über ein radiales Rotorblatt an eine Nabe angelenkt sind, können pneumatisch oder hydraulisch betriebene Steuerelemente vorgesehen sein, die in bestimmten Positionen der Umlaufbahn eine radiale Schubgeschwindigkeit bewirken, sodass der Anströmwinkel so beeinflusst wird, dass an jeder Stelle der Umlaufbahn tangentialer Antriebskräfte an mindestens einem Flügelsegment entstehen. Für die Steuerung der Rotordrehzahl sind entweder Flügelklappen an den beiden Segmenten eines Wendeflügels oder Getriebe für die Generatoren vorgesehen, die in der Lage sind die Drehzahl der Rotorwelle zu begrenzen.

**[0025]** Weitere Ausgestaltungsmöglichkeiten der Erfindung gehen aus den Figuren hervor.

**[0026]** Es zeigen:

**Fig. 1** einen Strömungskonverter mit zwei Wendeflügeln in der isometrischen Übersicht

**Fig. 2** den Horizontalschnitt A-A durch das erste Flügelsegment und den Horizontalschnitt A'-A' durch das zweite Flügelsegment des Strömungskonverters nach **Fig. 1**

**Fig. 3** einen Strömungskonverter mit drei Wendeflügeln in der isometrischen Übersicht

**Fig. 4** einen Strömungskonverter, bei dem zwei Scharen von jeweils fünf Wendeflügeln mit einem gegensinnigen Steigungswinkel untereinander zu einer Gitterschale in Form eines stehenden Zylinders verbunden sind

**Fig. 5** einen Strömungskonverter, bei dem zwei Scharen von jeweils zehn Wendeflügeln mit einem gegensinnigen Steigungswinkel untereinander zu einer Gitterschale in Form eines Kugelschichtkörpers verbunden sind

**Fig. 6** einen Strömungskonverter mit vier Wendeflügeln in der isometrischen Übersicht

**Fig. 7** einen Strömungskonverter, bei dem zwei Scharen von jeweils vier Wendeflügeln mit einem gegensinnigen Neigungswinkel untereinander zu einem Netz verbunden sind

**Fig. 8** einen Strömungskonverter, bei dem zwölf Scharen von Seilen mit einem in Drehrichtung gegensinnigen Neigungswinkel untereinander zu einem Seilnetz verbunden sind, das dazu ausgebildet ist, die Flügelsegmente einer Mehrzahl von Wendeflügeln zu tragen

- Fig. 9** ein Detail des Strömungskonverters nach **Fig. 8** mit Darstellung des mittleren Wendepunkts von zwei Wendeflügeln als Knotenpunkt des Seilnetzes
- Fig. 10** einen Strömungskonverter als Wasserturbine, bei dem drei Wendeflügel auf einer quadratischen Umlaufbahn laufen
- Fig. 11** neun exemplarische Positionen des ersten Flügelsegments eines Wendeflügels auf der quadratischen Umlaufbahn des Strömungskonverters nach **Fig. 10** in einem Querschnitt B-B
- Fig. 12** neun exemplarische Positionen des zweiten Flügelsegments eines Wendeflügels auf der quadratischen Umlaufbahn des Strömungskonverters nach **Fig. 10** in einem Querschnitt B'-B'
- Fig. 13** einen Strömungskonverter als Windturbine mit vier Wendeflügeln, bei dem die ortsfeste Drehimpulsachse und die Rotationsachse des Rotors mit einem Versatz zueinander angeordnet sind, wobei die Rotationsachse mit einem Planetengetriebe um die Drehimpulsachse rotiert
- Fig. 14** den Horizontalschnitt C-C durch das erste Flügelsegment eines der vier Wendeflügel des Strömungskonverters nach **Fig. 13** mit einem Umlauf des ersten Flügelsegments um die ortsfeste Drehimpulsachse in Form einer Hypozykloide und als Umlauf des ersten Flügelsegments um die Rotationsachse des Rotors mit vektorieller Darstellung von Geschwindigkeiten und Kräften
- Fig. 15** den Horizontalschnitt C'-C' durch das zweite Flügelsegment eines der vier Wendeflügel des Strömungskonverters nach **Fig. 13** mit einem Umlauf des zweiten Flügelsegments um die ortsfeste Drehimpulsachse in Form einer Hypozykloide und als Umlauf des zweiten Flügelsegments um die Rotationsachse des Rotors mit vektorieller Darstellung von Geschwindigkeiten und Kräften
- Fig. 16** den schematischen Querschnitt eines Strömungskonverters mit einem Planetengetriebe, bei dem ein Wendeflügel jeweils eine quadratische Umlaufbahn hat
- Fig. 17** den schematischen Querschnitt eines Strömungskonverters mit einem Planetengetriebe, bei dem ein Wendeflügel jeweils eine elliptische Umlaufbahn hat
- Fig. 18** den schematischen Querschnitt eines Strömungskonverters mit einem Planetengetriebe, bei dem drei Rotoren mit jeweils einem Wendeflügel mit einer schlaufenförmigen Hypozykloide um die ortsfeste Drehimpulsachse rotieren
- Fig. 19** den schematischen Querschnitt eines Strömungskonverters mit Planetengetriebe, drei Rotoren und drei Wendeflügeln
- Fig. 20** einen Strömungskonverter mit einem Planetengetriebe, bei dem drei jeweils einem Planetenrad eines Planetengetriebes zugeordnete Wendeflügel jeweils um die Rotationsachse der Rotoren und gemeinsam um die Drehimpulsachse des Strömungskonverters kreisen
- Fig. 21** einen den Strömungskonverter nach **Fig. 20** in einem schematischen Horizontalschnitt mit Darstellung der Umlaufbahnen der Wendeflügel jeweils auf einer Epizykloide
- Fig. 22** einen Strömungskonverter mit einer horizontalen Drehimpulsachse, bei dem die Rotationsachse des Rotors mit einem Versatz zu der Drehimpulsachse angeordnet ist als Wasserturbine in einer perspektivischen Darstellung mit vier Turbinenmodulen
- Fig. 23** ein Turbinenmodul des Strömungskonverters nach **Fig. 22** in der isometrischen Explosionsdarstellung
- Fig. 24** einen Strömungskonverter als Windturbine, bei dem drei Wendeflügel jeweils mit radialen Rotorblättern verbunden und über ein Nabengelenk verschwenkbar an eine Nabe angelenkt sind, in der isometrischen Übersicht
- Fig. 25** den Strömungskonverter nach **Fig. 24** in einer Seitenansicht mit Darstellung des Schwenkbereichs eines Rotorblatts im Steigflug
- Fig. 26** den Strömungskonverter nach **Fig. 24** in einer Seitenansicht mit Darstellung des Schwenkbereichs eines Rotorblatts im Sinkflug
- Fig. 27** die strömungsdynamische Wirkung des in **Fig. 25** dargestellten Steigflugs eines Wendeflügels und eines Rotorblatts des Strömungskonverters nach **Fig. 24** in einem Horizontalschnitt D-D durch das erste Flügelsegment und in einem Horizontalschnitt D'-D' durch das zweite Flügelsegment, jeweils mit vektorieller Darstellung der Geschwindigkeiten und Kräfte an acht exemplarischen Positionen des Wendeflügels auf seiner Umlaufbahn

**Fig. 28** die strömungsdynamische Wirkung des in **Fig. 26** dargestellten Sinkflugs eines Wendeflügels und eines Rotorblatts des Strömungskonverters nach **Fig. 24** in einem Horizontalschnitt E-E durch das erste Flügelsegment und in einem Horizontalschnitt E'-E' durch das zweite Flügelsegment, jeweils mit vektorieller Darstellung der Geschwindigkeiten und Kräfte an acht exemplarischen Positionen des Wendeflügels auf seiner Umlaufbahn

**Fig. 29** einen Strömungskonverter, bei dem die Rotationsachse des Rotors über ein Kardangelenk mit der ortsfesten Drehimpulsachse verbunden ist, als Windturbine in der isometrischen Übersicht

**Fig. 30** den Strömungskonverter nach **Fig. 29** in einer schematischen Schnittansicht

**Fig. 31** einen Strömungskonverter mit zwölf Wendeflügeln als Windturbine mit horizontaler Rotationsachse in der perspektivischen Übersicht

**Fig. 32** die Anströmung eines Wendeflügels des Strömungskonverters nach **Fig. 31** in einem perspektivischen Detailschnitt

**Fig. 33** den Strömungskonverter nach **Fig. 31** und **Fig. 32** in einer luvseitigen Ansicht

**Fig. 34** eine Windturbine mit horizontaler Rotationsachse, bei der zwölf Wendeflügel von einem Speichenrad getragen werden

**Fig. 35** die Anströmung eines Wendeflügels des Strömungskonverters nach **Fig. 34** in einem perspektivischen Detailschnitt.

**Fig. 36** die Bildung der tangentialen Antriebskräfte an dem ersten und zweiten Flügelsegment eines Wendeflügels der Windturbine nach **Fig. 34** und **Fig. 35** in einer perspektivischen Schnittdarstellung

**Fig. 37** eine Windturbine mit horizontaler Rotationsachse als Speichenradkonstruktion, bei der der äußere Druckring von einer Gitterschale gebildet wird, in der perspektivischen Übersicht

**Fig. 38** die Windturbine nach **Fig. 37** in einem Detailschnitt durch den als Gitterschale ausgebildeten Druckring des Speichenrads und als luvseitige Ansicht

**Fig. 39** ein Diagramm mit Darstellung der sich wechselseitig kompensierenden Sogkräfte

**Fig. 40** ein Diagramm mit Darstellung der luv- und leeseitigen tangentialen Antriebskräfte.

**[0027]** **Fig. 1** zeigt einen Strömungskonverter **1** als Windturbine **18** mit einer vereinigten Drehimpuls- und Rotationsachse X,Y. Zwei Wendeflügel **2** weisen jeweils ein erstes Flügelsegment I, dessen Saugseite sich auf der Außenseite der Umlaufbahn U befindet und zwei Flügelsegmente II, deren Saugseite auf der, der Rotationsachse Y zugewandten Innenseite der Umlaufbahn U liegt, auf. Ein Wendeflügel **2** erstreckt sich über eine Höhe h, von einem unteren Endpunkt E1 bis zu einem oberen Endpunkt E2, entlang einer Druckpunktlinie **21**. Etwa auf halber Höhe h ist ein mittlerer Wendepunkt W vorgesehen, an dem die Saugseite der Flügelsegmente I,II von der Außenseite zur Innenseite der Umlaufbahn U wechselt. Die Wendeflügel **2** sind über zwei radiale Tragarme **102** mit dem Gehäuse des Generators **14** verbunden. Die als Kurven **211** ausgebildeten Druckpunktlinien **21** der Wendeflügel I,II liegen auf einer Rotationsfläche **13**, die als Zylinderfläche **130** ausgebildet ist und weisen jeweils in Drehrichtung R des Rotors **10** einen tangentialen Neigungswinkel  $\alpha$  auf. Jedes der beiden Flügelsegmente I,II hat ein asymmetrisches Flügelprofil **20** und ist mit seiner Flügelnase **200** in Drehrichtung des Rotors **10** ausgerichtet, wobei die sich, zwischen der Flügelnase **200** und der Flügelhinterkante **201** erstreckende Profilhöhle q, tangential zu der Umlaufbahn U ausgerichtet ist. Die aerodynamische Wirkung der asymmetrischen Flügelprofile **20** wird für das Flügelsegment II am Endpunkt E1 und für das Flügelsegment I am Endpunkt E2 in einem schematischen Grundriss erläutert. Die vektorielle Darstellung zeigt in der Strömung F eine Strömungsgeschwindigkeit a und eine Umlaufgeschwindigkeit b, die etwa dem vierfachen der Strömungsgeschwindigkeit a entspricht, an den Flügelsegmenten I,II jeweils mit einem resultierenden Anströmungswinkel und einer resultierenden Anströmgeschwindigkeit d. Die von der Anströmgeschwindigkeit d bewirkte Auftriebskraft L wirkt an dem Flügelsegment I auf der Außenseite und an dem Flügelsegment II auf der Innenseite der Umlaufbahn U. Die Auftriebskräfte L haben jeweils zugehörige Sogkräfte S und tangentiale Antriebskräfte P. Wie sich die Sogkräfte S an jedem Punkt der Umlaufbahn U gegenseitig wenigstens teilweise kompensieren, ist in **Fig. 2** in dem Schnitt A-A durch das Flügelsegment I und in dem Schnitt A'-A' durch das Flügelsegment II näher dargestellt.

**[0028]** **Fig. 2** zeigt die aerodynamische Wirkung des Wendeflügels **2** der Windturbine **18** nach **Fig. 1**, jeweils an acht exemplarischen Schnitten A-A durch das Flügelsegment I und durch das Flügelsegment II, als Schnitte A'-A'. Die schematischen Schnitte zeigen die vektorielle Addition der Strömungsgeschwindigkeit a, der Umlaufgeschwindigkeit b, der Anströmgeschwindigkeit d und den Anströmungswinkel  $\delta$ , jeweils an 8 unterschiedlichen

Positionen der Umlaufbahn U. Während das Flügelsegment I auf der leeseitigen Hälfte der Umlaufbahn U antreibend (+) und auf der luvseitigen Hälfte der Umlaufbahn U verzögernd (-) wirkt, sind die Verhältnisse bei dem im Schnitt A'-A' dargestellten Flügelsegment II genau umgekehrt: Hier wirkt die luv-seitige Hälfte der Umlaufbahn U antreibend (+), während die leeseitige Hälfte verzögernd wirkt. Dabei ist zu beachten, dass die tangentialen Antriebskräfte P der asymmetrischen Flügelprofile **20** jeweils wesentlich größer sind, als die verzögernd (-) wirkenden Komponenten in jeweils einer Hälfte der Umlaufbahn U. In **Fig. 39** ist die kompensatorische Wirkung der Sogkräfte S und in **Fig. 40** ist die Bilanz der tangentialen Antriebskräfte P für die gesamte Umlaufbahn U dargestellt.

**[0029] Fig. 3** zeigt ebenfalls einen Strömungskonverter **1** als Windturbine **18**, deren Rotor **10** eine vertikaler Rotationsachse Y hat, die mit der ortsfesten Drehimpulsachse X zusammenfällt. Hier sind drei Wendeflügel **2**, die in Drehrichtung R jeweils mit einem tangentialen Neigungswinkel  $\alpha$  auf der Umlaufbahn U auf einer Rotationsfläche **13** als Zylinderfläche **130** jeweils in einem Abstand von  $120^\circ$  zueinander angeordnet sind. Zwischen den Endpunkten **E1,E2** erstreckt sich eine, als Kurve **211** ausgebildete Druckpunktlinie **21**. Radiale Tragarme **102** verbinden die Segmente I,II der Wendeflügel **2** mit dem Gehäuse eines Generators **14**. Das Tragwerk **15** der Windturbine **18** wird von einem Mast **153** gebildet. Jeweils an einem mittleren Wendepunkt W, auf halber Höhe h der Wendeflügel **2**, wechselt die Saugseite von der Außenseite am Flügelsegment I zu der Innenseite am Flügelsegment II der Umlaufbahn U. Flügelklappen **121** an den beiden Flügelsegmenten I, II der Wendeflügel **2** ermöglichen, wie hier exemplarisch an einem Wendeflügel **2** dargestellt, eine Steuerung der Drehzahl des Rotors **10**. Die Schnitte A-A und A'-A' entsprechen dem in **Fig. 2** gezeigten Beispiel.

**[0030] Fig. 4** zeigt einen Strömungskonverter **1** als Windturbine **18**, bei der sich fünf Wendeflügel **2** in Drehrichtung R mit einem tangentialen Neigungswinkel  $\alpha$  und fünf Wendeflügel mit einem gegensinnigen Neigungswinkel  $\alpha'$  durchdringen und eine biege-, schub- und torsionssteife Gitterschale **151** bilden, die auf Fahrgestellen **152** und einer Schiene drehbar um eine gemeinsame Drehimpuls- und Rotationsachse X,Y gelagert ist. Mindestens eines der Fahrgestelle **152** ist mit einem Generator **14**, der als Radnabengenerator **140** ausgebildet ist, verbunden. In einer Kurve **211** erstreckt sich die Druckpunktlinie **21** eines Wendeflügels **2** zwischen den Endpunkten **E1,E2** auf einer Zylinderfläche **130**, die als Rotationsfläche **13** die Umlaufbahn U der Wendeflügel **2** definiert. Jeweils an mittleren Wendepunkten W wechselt die Saugseite des asymmetrischen Flügelprofils **20** der Flügelsegmente I,II von der Außenseite, zu der Innenseite der Gitterschale **151**. Aussteifende Ringflügel **101**, die im Querschnitt ein symmetrisches Flügelprofil aufweisen, verbinden die Wendeflügel **2** an den Knotenpunkten N untereinander. Eine derartige Windturbine **18** kann aufgrund ihrer strukturellen Stabilität in unterschiedlichen Größen, z.B. mit einem Durchmesser von 3m und einer Höhe von 15m oder aber einem Durchmesser von 60m und einer Höhe von 180m und auch noch größer hergestellt werden. Dabei können die Ringflügel **101** zur Queraussteifung durch nicht näher dargestellte tangentielle oder radiale Spannseile verspannt werden.

**[0031] Fig. 5** zeigt einen Strömungskonverter **1**, als kleine Windturbine **18**, mit einem Durchmesser des Rotors **10** von etwa 1.5m bis 15m. Der mit dem Rotor **10** verbundene Läufer des Generators **14**, dreht um die vertikale Rotationsachse Y, während der Statorring, mit der zu der Rotationsachse Y koaxial angeordneten ortsfesten Drehimpulsachse X und dem Mast **153** verbundenen ist. Zehn Wendeflügel **2**, die in Drehrichtung R des Rotors **10** mit einem tangentialen Neigungswinkel  $\alpha$  mit ihren Druckpunktlinien **21** auf einer, als Kugelschichtfläche **132** ausgebildeten Rotationsfläche **13**, angeordnet sind, durchdringen sich jeweils an ihrem mittleren Wendepunkt W und an Knotenpunkten N mit zehn weiteren Wendeflügeln **2** mit einem gegensinnigen tangentialen Neigungswinkel  $\alpha'$ , deren Druckpunktlinien **21** ebenfalls auf der Kugelschichtfläche **132** angeordnet sind und bilden eine biege-, schub- und torsionssteife Gitterschale **151**. Die kleine Windturbine ist besonders für die Integration in stadträumliche Zusammenhänge und für eine siedlungsnaher Stromerzeugung gedacht. Alternativ zu der dargestellten Kugelschichtfläche **132** kann die Rotationsfläche **13** z.B. auch als Ellipsoid oder Paraboloid hergestellt werden.

**[0032] Fig. 6** zeigt einen Strömungskonverter **1** mit vertikaler Rotationsachse Y, bei dem vier Wendeflügel **2**, deren zwischen den Endpunkten **E1** und **E2** verlaufende Druckpunktlinie **21** als Gerade **210** ausgebildet ist, die jeweils mit einem tangentialen Neigungswinkel  $\alpha$  in Drehrichtung R auf einer Rotationsfläche **13**, in Form eines Rotationshyperboloides **131**, angeordnet sind. Mit einem über die Höhe h wechselnden radialen Abstand zu der Drehimpuls- und Rotationsachse X,Y erstrecken sich die Druckpunktlinien **21** auf dieser Rotationsfläche **13**. An dem mittleren Wendepunkt W sind die Wendeflügel **2** jeweils über radiale Tragarme **102** mit einem koaxial und konzentrisch zu dem Mast **153** und der ortsfesten Drehimpulsachse X angeordneten Generator **14** und an ihren Endpunkten **E1** und **E2** jeweils mit einem Ringflügel **101** untereinander verbunden. Bei der, von der Strömung F evozierten Rotationsbewegung mit Drehrichtung R wird die, sich zwischen den Endpunkten **E1** und **E2** erstreckende Flügeloberfläche, an den Flügelsegmenten I,II jeweils entgegen der Saugseite des

asymmetrischen Flügelprofils **20**, bei dem Flügelsegment II nach außen und bei dem Flügelsegment I nach innen gedrückt. Der Horizontalschnitt A-A durch ein Flügelsegment I und der Horizontalschnitt A'-A' durch ein Flügelsegment II entspricht in seiner aerodynamischen Wirkung dem in **Fig. 2** erläuterten Beispiel. Die gegenseitige Kompensation, der von den Flügelsegmenten I,II bewirkten Sogkräfte S ermöglicht die Ausbildung eines vergleichsweise schlanken Tragwerks **15**, bei dem der Rotor **10** mit dem Generator **14** von einem Mast **153** getragen wird.

**[0033]** **Fig. 7** zeigt eine Windturbine **18** bei der die vertikale Drehimpulsachse X und die Rotationsachse Y des Rotors **10** zusammenfallen. Eine Schar von jeweils sechs Wendeflügeln **2** mit einem tangentialen Neigungswinkel  $\alpha$  in Drehrichtung R des Rotors **10** durchdringt jeweils an dem mittleren Wendepunkt W eine weitere Schar von sechs Wendeflügeln mit einem gegensinnigen tangentialen Neigungswinkel  $\alpha'$ . Radial angeordnete Rotorblätter **105** unterstützen als druckbeanspruchte Tragarme **102** einen unteren und einen oberen Ringflügel **101** und sind ihrerseits mit den Endpunkten **E1,E2** der Wendeflügel **2** verbunden. Die als Geraden **210** ausgebildeten Druckpunktlinien **21** mit dem gegensinnigen Neigungswinkel  $\alpha, \alpha'$  erzeugen eine als Rotationshyperboloid **131** ausgebildete Rotationsfläche **13**, auf der die Wendeflügel **2** mit wechselnden radialen Abständen zu der Drehimpuls- und Rotationsachse X,Y angeordnet sind. Radial angeordnete Rotorblätter **105** sind nabenseitig mit dem Generator **14** verbunden und unterstützen die Ringflügel **101** jeweils an drei gleichmäßig voneinander beabstandeten Punkten. Die Ringflügel **101** am unteren und oberen Ende der Rotors **10** ermöglichen die Ausbildung zugbeanspruchter und vorgespannter Flügelsegmente I,II der Wendeflügel **2**, die z.B. aus einem profilierten Kohlefaserstreifen oder aus einem profilierten Blechband hergestellt werden können. Der Horizontalschnitt A-A durch die Umlaufbahn des Flügelsegments I und der Schnitt A'-A' durch die Umlaufbahn eines Flügelsegments II entsprechen im Wesentlichen dem in **Fig. 2** gezeigten Beispiel.

**[0034]** **Fig. 8** zeigt eine Windturbine **18**, bei der die Druckpunktlinien **21** der Wendeflügel **2** jeweils an ihren Endpunkten **E1** und **E2** zu einer Flügelkette **22** verbunden sind, wobei sich eine Schar von Druckpunktlinien **21** mit einem tangentialen Neigungswinkel  $\alpha, \alpha'$  jeweils an den Wendepunkten W überkreuzen. Dabei entsteht ein Netz **213**, das ein Rotationshyperboloid **131** definiert und als Seilnetz **150**, wie in **Fig. 9** gezeigt, von paarweise angeordneten Seilen gebildet wird. Die Flügelsegmente I,II sind, wie in **Fig. 9** gezeigt, als Profilschalen **23** ausgebildet und werden von dem Seilnetz **150** getragen. Die hier gezeigte Rotorkonstruktion mit einem Tragsystem, das ausschließlich von Zug- und Druckgliedern gebildet wird, eignet sich für sehr große Windturbinen **18**, wobei mehrere vertikal gestapelte Rotationshyperboloide **131** vorgesehen sind. Schließlich kann das Seilnetz **150** den Mast **153** stützen, wobei ein unteres Speichenrad **100** die Zugkräfte aufnimmt und, wie in **Fig. 4** gezeigt, mit einem Fahrgestell verbunden ist.

**[0035]** **Fig. 9** zeigt den mittleren Wendepunkt W von zwei Wendeflügeln **2** als Seilnetzknotten der Windturbine **18** nach **Fig. 8**. Das Seilnetz **150** trägt die als Profilschalen **23** ausgebildeten Flügelsegmente I,II von jeweils zwei mit einem gegensinnigen Neigungswinkel  $\alpha, \alpha'$  angeordneten Wendeflügeln **2**. Wie in **Fig. 8** gezeigt, definiert das Netz **213** ein Rotationshyperboloid **131** und ist als zweiläufiges Seilnetz **150** ausgebildet. Die mittleren Wendepunkte W der zu einer Flügelkette **22** untereinander verbundenen Wendeflügel **2** sind jeweils als Seilklemmen ausgebildet.

**[0036]** **Fig. 10** zeigt eine Wasserturbine **17**, deren Rotor **10** eine horizontale Rotationsachse Y hat, die über zwei Kardangelenke **108** an die ortsfeste Drehimpulsachse X angelenkt ist. Das Reuleaux-Dreieck **106** ist als Rollkörper ausgebildet, der in einem quadratischen Lagerkörper abrollt, sodass drei jeweils in den Eckpunkten des Reuleaux-Dreiecks angeordneten Wendeflügel **2**, wie in den **Fig. 11** und **Fig. 12** gezeigt, auf einer quadratischen Umlaufbahn U mit gerundeten Ecken laufen. Die quadratischen Lagerkörper für das linke und das rechte Reuleaux-Dreieck sind jeweils mit einem Winkel von  $45^\circ$  zur Strömung F angeordnet und in seitliche Strömungsleitwände **154** eingelassen. Die drei Wendeflügel **2** erstrecken sich quer zu der Strömung F zwischen den Endpunkten **E1,E2**, wobei an dem mittleren Wendepunkt W die Saugseite des ersten Flügelsegments I von der Außenseite der Umlaufbahn U an dem Flügelsegment II auf die Innenseite der Umlaufbahn U wechselt. Die Wasserturbine **17** kann z.B. auch als ein Modul eines Gezeitenkraftwerkes ausgebildet werden, bei dem sich bei gleichbleibender Drehrichtung R des Rotors **10** die Richtung der Strömung F umkehrt.

**[0037]** **Fig. 11** zeigt im Horizontalschnitt neun exemplarische Positionen des ersten Flügelsegments I auf seiner quadratischen Umlaufbahn U. Während die leeseitigen Hälfte der Umlaufbahn überwiegend antreibend wirkt (+), wirkt die luvseitige Hälfte der Umlaufbahn U überwiegend verzögernd (-). In der Bilanz überwiegen die antreibend (+) wirkenden Kräfte die verzögernden Kräfte (-) deutlich aufgrund des günstigen Anströmwinkels  $\delta$  der Anströmgeschwindigkeit d als vektorielle Summe aus der Strömungsgeschwindigkeit a und der Umlaufgeschwindigkeit b. Daraus ergibt sich an jeder Position des ersten Flügelsegments I in der leeseitigen Hälfte der

Umlaufbahn U eine tangentielle Antriebskraft P. Geschwindigkeiten und Kräfte sind in einer leeseitigen Position des ersten Flügelsegments I bezeichnet.

**[0038] Fig. 12** zeigt im Vertikalschnitt neun exemplarische Positionen des zweiten Flügelsegments II auf seiner quadratischen Umlaufbahn U. Während die luvseitige Hälfte der Umlaufbahn überwiegend antreibend wirkt (+), wirkt die leeseitige Hälfte der Umlaufbahn U überwiegend verzögernd (-). In der Bilanz überwiegen die antreibend (+) wirkenden Kräfte die verzögernden Kräfte (-) deutlich, aufgrund des günstigen Anströmwinkels  $\delta$  der Anströmgeschwindigkeit d, als vektorielle Summe aus der Strömungsgeschwindigkeit a und der Umlaufgeschwindigkeit b. Daraus ergibt sich an jeder Position des zweiten Flügelsegments II in der luvseitigen Hälfte der Umlaufbahn U eine tangentielle Antriebskraft P. Geschwindigkeiten und Kräfte sind in einer luvseitigen Position des zweiten Flügelsegments II bezeichnet.

**[0039] Fig. 13** zeigt einen Strömungskonverter 1 als Windturbine 18 mit einem Planetengetriebe 11, das in Fig. 14-15 näher erläutert wird. Die vertikale Rotationsachse Y des Rotors 10 rotiert im Uhrzeigersinn um die ortsfeste Drehimpulsachse X. Vier radiale Tragarme 102 greifen jeweils an dem mittleren Wendepunkt W der Wendeflügel 2 an und verbinden den Rotor 10 mit dem Planetengetriebe 11. Zwischen den Endpunkten E1 und E2 erstreckt sich eine Gerade 210 als Druckpunktlinie 21 der Wendeflügel 2 mit einem Neigungswinkel  $\alpha$  in Drehrichtung R. Um die Stabilität des Rotors 10 zu erhöhen und um bei einer kleineren Windturbine 18 Verletzungen zu vermeiden, sind die Endpunkte E1 und E2 der Wendeflügel 2 mit einem oberen und einem unteren Ringflügel 101 verbunden. Die aerodynamische Wirkung des Planetengetriebes 11 wird in Fig. 14 für das erste Flügelsegment I in dem Horizontalschnitt C-C und in Fig. 15 in dem Horizontalschnitt C'-C' für das zweite Flügelsegment II, näher erläutert.

**[0040] Fig. 14** zeigt den Horizontalschnitt C-C durch das erste Flügelsegment I der Windturbine 18 nach Fig. 13, oben mit Darstellung der jeweils auf einer Hypozykloide 114 laufenden Wendeflügel 2 und unten mit Darstellung der Geschwindigkeiten und Kräfte auf der kreisförmigen Umlaufbahn U der Flügelsegmente I des Wendeflügels 2. Der Schnitt C-C zeigt jeweils für das erste Flügelsegment I des Wendeflügels 2 acht exemplarische Positionen auf einer kreisförmigen Umlaufbahn U um die Rotationsachse Y, die ihrerseits um die ortsfeste Rotationsachse X des Strömungskonverters I kreist. Das Planetengetriebe 11 besteht aus einem zentralen Sonnenrad 110, drei durch einen Planetenträger 113 untereinander verbundenen Planetenrädern 111 und einem äußeren Hohlrads 112. Innerhalb der Strömung F addieren sich die Strömungsgeschwindigkeit a, die Umlaufgeschwindigkeit b des ersten Flügelsegments I um die ortsfeste Drehimpulsachse X, sowie die Umlaufgeschwindigkeit b' um die Rotationsachse Y, zu einer Anströmgeschwindigkeit d. Es zeigt sich, dass der Anströmwinkel  $\delta$  des ersten Flügelsegments I in der leeseitigen Hälfte der Umlaufbahn U antreibend (+) wirkt, wobei sehr große tangentielle Antriebskräfte P entstehen, die die im luvseitigen Teil der Umlaufbahn U zu verzeichnenden, verzögernd (-) wirkenden Kräfte überwiegen.

**[0041] Fig. 15** zeigt den Horizontalschnitt C'-C' durch das zweite Flügelsegment II der Windturbine 18 nach Fig. 13, oben mit Darstellung der jeweils auf einer Hypozykloide 114 laufenden Wendeflügel 2 und unten mit Darstellung der Geschwindigkeiten und Kräfte auf der kreisförmigen Umlaufbahn U der Flügelsegmente II des Wendeflügels 2. Im Unterschied zu der in Fig. 14 dargestellten strömungsdynamischen Wirkung des ersten Flügelsegments I, wirkt bei dem zweiten Flügelsegment II die luvseitige Hälfte der Umlaufbahn U antreibend (+), während die leeseitige Hälfte der Umlaufbahn U verzögernd (-) wirkt. In der Gesamtbilanz führen die Flügelsegmente I und II zu einem vergleichsweise großen Drehmoment an der ortsfesten Drehimpulsachse X des Strömungskonverters 1. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde hier auf die vektorielle Darstellung einer zusätzlichen Schubgeschwindigkeit c, die sich, wie in Fig. 27 und Fig. 28 gezeigt, aus der Hypozykloide 114 ergibt, verzichtet. Das Enger- und Weiterziehen der Umlaufbahn U im Falle einer Hypozykloiden 114 führt jeweils an einem der Flügelsegmente I,II des Wendeflügels 2 zu einem Schub, der sich positiv auf den Anströmwinkel  $\delta$  auswirkt.

**[0042] Fig. 16** zeigt einen Querschnitt durch einen Strömungskonverter 1 mit einer ortsfesten Drehimpulsachse X, bei dem der Rotor 10 eine Rotationsachse Y aufweist, die um die Drehimpulsachse X kreist. Das Planetengetriebe 11 ist hier als Schubkurbelgetriebe ausgebildet und weist ein feststehendes Hohlrads 112, in dem ein Planetenrad 111 läuft, auf. Der Planetenträger 113 ist als Kurbel an die ortsfeste Drehimpulsachse X angelenkt. Über radiale, gleichmäßig voneinander beabstandete Tragarme 102 sind drei Wendeflügel 2, die jeweils aus einem ersten Flügelsegment I und einem zweiten Flügelsegment II aufgebaut sind, an die Rotationsachse Y des Rotors 10 angelenkt und bewegen sich jeweils mit einem konstanten radialen Abstand um die Rotationsachse Y auf einer kreisförmigen Umlaufbahn U. Aus der Überlagerung der Drehbewegungen des Rotors 10, um seine Rotationsachse Y und seiner gleichzeitigen Drehbewegung um die ortsfeste Drehimpulsachse X

des Strömungskonverters **1**, ergeben sich für die drei Wendeflügel **2** Umlaufbahnen U in Form einer verkürzten Hypozykloide **114** als Quadrat mit gerundeten Ecken.

**[0043]** Fig. 17 zeigt einen Querschnitt durch einen Strömungskonverter **1** mit einem Planetengetriebe **11**. Im Unterschied zu dem in Fig. 13 bis Fig. 15 ausführlich erläuterten Ausführungsbeispiel ist der Durchmesser des feststehenden Hohlrads **112** bei dieser Ausführungsform des Planetengetriebes **11** genau doppelt so groß wie der Durchmesser des Planetenrads **111**. Dabei ist die Länge der radialen Tragarme **102** so gewählt, dass sich aus der Überlagerung der Drehbewegung des Rotors **10** um die Rotationsachse Y und der Drehbewegung des Planetenträgers **113** um die ortsfeste Drehimpulsachse X für jeden Wendeflügel **2** eine Umlaufbahn U in Form einer verkürzten Hypozykloide **114** als Ellipse ergibt.

**[0044]** Fig. 18 zeigt einen Querschnitt durch einen Strömungskonverter **1**, bei dem drei Planetenräder **111** in einem Hohlrad **112** laufen, sodass sich die aus der Überlagerung der Drehbewegung eines Wendeflügels **2** um die Rotationsachse Y mit Drehrichtung R und der gleichzeitigen Drehbewegung der Rotationsachsen Y um die ortsfeste Drehimpulsachse X mit Drehrichtung R geschweifte Hypozykloiden **114** als Umlaufkurven der Wendeflügel **2** ergeben. Im Falle einer Windturbine **18** mit einer vertikal angeordneten Drehimpulsachse X würde diese Ausführungsform die Ausbildung eines zentralen Mastes **153** ermöglichen, da sich die Hypozykloiden **114** an der zentralen Drehimpulsachse X nicht tangieren.

**[0045]** Fig. 19 zeigt einen Querschnitt durch einen Strömungskonverter **1** mit einer ortsfesten Drehimpulsachse X, bei dem drei Rotoren **10** vorgesehen sind, die jeweils mit einer kreisförmigen Umlaufbahn U um eine Rotationsachse Y mit Drehrichtung R drehen. Dafür ist ein Planetengetriebe **11** mit einem feststehenden Hohlrad **112** vorgesehen, in dem drei Planetenräder **111** laufen und über einen Planetenträger **113** in Form einer Kurbel an eine zentral angeordnete, ortsfeste Drehimpulsachse X angelenkt sind. Mittels von radialen Tragarmen **102** ist ein Wendeflügel **2**, der jeweils aus einem ersten Flügelsegment I und einem zweiten Flügelsegment II aufgebaut ist, an seine Rotationsachse Y im Zentrum eines Planetenrads **11** angelenkt und bewegt sich mit einem gleichbleibenden radialen Abstand um die Rotationsachse Y auf einer kreisförmigen Umlaufbahn U. Aus der Überlagerung der Drehbewegungen des Rotors **10** um seine Rotationsachse Y und seiner gleichzeitigen Drehbewegung um die ortsfeste Drehimpulsachse X des Strömungskonverters **1** ergeben sich an der ortsfesten Drehimpulsachse X einander tangierende Umlaufkurven der Wendeflügel **2** jeweils als schlaufenförmige Hypozykloiden **114**. Um eine Kollision der Wendeflügel **2** zu vermeiden, sind sie jeweils mit einem Versatz zueinander an die Planetenräder **111** angelenkt.

**[0046]** Fig. 20 zeigt eine kleine Windturbine **18**, bei der eine Nabe **103** konzentrisch und koaxial zu der ortsfesten Drehimpulsachse X angeordnet und an einen zentralen Mast **153** angelenkt ist. Zwei starr mit dem Mast **153** verbundene Sonnenräder **110** bilden das Zentrum eines oberen und unteren Planetengetriebes **11**, bei dem jeweils drei Planetenräder **111**, über einen oberen und einen unteren, sternförmig ausgebildeten Planetenträger **113** über die Nabe **103**, an die Drehimpulsachse X angelenkt sind. Die Drehachsen der Planetenräder **111** bilden die Rotationsachsen Y für jeweils einen Wendeflügel **2**, der aus einem ersten Flügelsegment I und einem zweiten Flügelsegment II aufgebaut ist und dessen Druckpunktlinie **21** sich über eine Höhe h zwischen einem unteren Endpunkt **E1** und einem oberen Endpunkt **E2** erstreckt. Die Wendeflügel rotieren jeweils auf einer kreisförmigen Umlaufbahn U um ihre Rotationsachsen Y, an die sie mittels von radialen Tragarmen **102** angelenkt sind. Während dieser ersten Rotationsbewegung mit Drehrichtung R drehen sich die Planetenräder **111** um die Drehimpulsachse X, sodass aus der Überlagerung der Drehbewegungen jeder Wendeflügel **2** auf einer Umlaufkurve in Form einer Epizykloide **115** läuft. Die Überlagerung der beiden Drehbewegungen wird in Fig. 21 weiter erläutert.

**[0047]** Fig. 21 zeigt die Windturbine **18** nach Fig. 20 in einem Horizontalschnitt mit Darstellung der einander überlagernden Umlaufkurven der Wendeflügel **2** jeweils als Epizykloiden **115** und des Planetengetriebes **11** mit einem zentralen, feststehenden Sonnenrad **110** und drei Planetenrädern **111**, an deren Rotationachse Y jeweils ein Wendeflügel **2** angelenkt ist.

**[0048]** Fig. 22 zeigt vier Module eines Gezeitenkraftwerks, das für eine periodisch wechselnde Richtung der Strömung F ausgelegt ist und vier Wasserturbinen **17** mit einer horizontalen Rotationsachse Y und einer parallel versetzten Drehimpulsachse X aufweist. Jede Wasserturbine **17** besteht aus drei Wendeflügeln **2**, die jeweils an ihren Endpunkten **E1, E2** mit einer kreisförmigen Scheibe des Rotors **10** verbunden sind. Diese Rotorscheibe rotiert um die Achse Y und durchläuft dabei durch ihre gleichzeitige Rotation um die ortsfeste Drehimpulsachse X eine periodisch wechselnden Hub- und Senkbewegung. Wird das erste Flügelsegment I dabei zur Drehimpulsachse X hingezogen, wird dadurch die Anströmung des ersten Flügelsegments I so beeinflusst, dass große tangential Antriebskräfte entstehen. Entfernt sich dagegen das zweite Flügelsegment II von der

Drehimpulsachse X, wird auch hier die Anströmung so beeinflusst, dass große tangentiale Antriebskräfte an dem Flügelsegment II entstehen. Die Drehimpulsachse X und die Rotationsachse Y sind untereinander durch ein Planetengetriebe **11** verbunden, das in seinem Aufbau dem in den **Fig. 13-Fig. 15** beschriebenen Ausführungsbeispiel entspricht.

**[0049] Fig. 23** zeigt ein Modul des Gezeitenkraftwerks nach **Fig. 22** in einer Explosionsisometrie mit Darstellung der sich entlang einer Druckpunktlinie **21** in Form einer Geraden **210** zwischen den Endpunkten **E1,E2** erstreckenden Wendeflügel **2**, deren Saugseite an dem mittleren Wendepunkt W von der Außenseite der Umlaufbahn U an dem zweiten Flügelsegment II auf die Innenseite der Umlaufbahn U wechselt. Die isometrische Explosionsdarstellung zeigt die Drehscheibe des Rotors **10**, das Planetengetriebe **11** und den Generator **14**. Während die Drehscheibe um die Achse Y dreht, sind das Planetengetriebe **11** und der Generator **14** der Drehimpulsachse X zugeordnet. Da sich die aus der Anströmung und der Umlaufgeschwindigkeit resultierenden Sogkräfte an einem Wendeflügel **2** vollständig kompensieren, minimiert sich der Umlaufwiderstand des Rotors **10**. Die Wasserturbine **17** ist an einem Gehäuse aus Stahlbeton angelenkt.

**[0050] Fig. 24** zeigt einen Strömungskonverter **1** als Windturbine **18**, deren Rotor **10** eine vertikale Rotationsachse Y hat, die mit der ortsfesten Drehimpulsachse X zusammenfällt. Drei aus einem ersten Flügelsegment I und einem zweiten Flügelsegment II aufgebaute Wendeflügel **2** werden durch radiale, mit einem Winkel von  $120^\circ$  regelmäßig voneinander beabstandete Tragarme **102**, die als Auftrieb erzeugende Rotorblätter **105** ausgebildet sind, auf ihrer Umlaufbahn U um die Rotationsachse Y gehalten. Die Rotorblätter **105** sind jeweils an den Wendepunkten W biegesteif mit den Wendeflügeln **2** verbunden, während sie über ein Nabengelenk **104** mit einer tangential ausgerichteten Schwenkachse Z an die Nabe **103**, die auch das Gehäuse des Generators **14** bildet, angelenkt sind. Wie in **Fig. 25** und **26** näher erläutert, sind Steuerelemente **12** zur Einstellung des Schwenkwinkels  $\lambda$  vorgesehen, die aus einem Zylinder **120** oder aus einem oder mehreren von der Firma Festo entwickelten hydraulischen Muskeln bestehen. Ein selbsttätiger oder gesteuerter Steig- und Sinkflug der an der Nabe **103** gefesselten Rotorblätter **105** bewirkt, wie in den **Fig. 27** und **Fig. 28** näher erläutert, eine aus der Umlaufgeschwindigkeit  $b$  und einer radialen Schubgeschwindigkeit  $c$  zusammengesetzte Rotationsbewegung mit Drehrichtung R, die den Anströmwinkel  $\delta$  beeinflusst.

**[0051] Fig. 25** zeigt den Steigflug der gefesselten Rotorblätter **105**, der an den Flügelsegmenten I,II jeweils mit entgegengesetzter Schubrichtung K wirkt. Die Rotorblätter **105** sind an dem mittleren Wendepunkt W biegesteif mit dem Wendeflügel **2** verbunden und an ihrem nabenseitigen Ende über ein Nabengelenk **104** mit einer tangential ausgerichteten Schwenkachse Z an die Nabe **103** angelenkt. Der Schwenkbereich der Rotorblätter **105** wird durch den Schwenkwinkel  $\lambda$  gegenüber der vereinigten Drehimpuls- und Rotationsachse X,Y definiert. Für den dargestellten Steigflug des Rotorblatts **105** ist jeweils die Schubrichtung K für das Flügelsegment I und das Flügelsegment II der Wendeflügel **2** sowie auch für das Rotorblatt **105** selbst dargestellt. Das als Zylinder **120** ausgebildete Steuerelement **12** unterstützt den Steigflug der Rotorblätter **105**. Dabei beeinflusst die entgegen der Steigrichtung wirkende Schubgeschwindigkeit  $c$  mit Schubrichtung K den Anströmwinkel  $\delta$  der Rotorblätter **105** negativ, sodass aus der Auftriebskraft L und der Sogkraft S eine verzögernd (-) wirkende Kraft resultiert.

**[0052] Fig. 26** zeigt den Sinkflug der gefesselten Rotorblätter **105**, der an den Flügelsegmenten I,II jeweils mit entgegengesetzter Schubrichtung K wirkt. Der durch den Schwenkwinkel  $\lambda$  begrenzte Sinkflug der Rotorblätter **105** beeinflusst den Anströmwinkel  $\delta$  der Anströmgeschwindigkeit  $d$  positiv, sodass aus der von einem Rotorblatt **105** bewirkten Auftriebskraft L und der Sogkraft S eine tangentiale Antriebskraft P resultiert. Der Steig- und Sinkflug der Rotorblätter **105**, die als radiale Tragarme **102** die Wendeflügel **2** mit der Nabe **103** verbinden, kann selbsttätig oder gesteuert erfolgen, wobei ein Steuerelement **12** z.B. aus einem Zylinder **120** besteht. Flügelklappen **121** an den Wendeflügeln **2**, wie auch in **Fig. 25** gezeigt, dienen der Drehzahlsteuerung des Rotors **10**.

**[0053] Fig. 27** zeigt in den Horizontalschnitten D-D und D'-D' die aerodynamische Wirkung des in **Fig. 28** in dem Schnitt E-E für das erste Flügelsegment I und E'-E' für das zweite Flügelsegment II dargestellten Steigfluges der Rotorblätter **105**, jeweils in acht exemplarischen Positionen auf der Umlaufbahn U um die Rotationsachse Y, die hier mit der ortsfesten Drehimpulsachse X zusammenfällt. In dem Schnitt D-D ist das erste Flügelsegmente I und in dem Schnitt D'-D' das zweite Flügelsegment II dargestellt. Beide Horizontalschnitte zeigen, wie in **Fig. 25** näher erläutert, den Steigflug des hier nicht dargestellten Rotorblattes **105**. Während des Steigfluges wird der Anströmwinkel  $\delta$  sowohl in dem luvseitigen Sektor als auch dem leeseitigen Sektor der Umlaufbahn U des ersten und des zweiten Flügelsegments I,II eines Wendeflügels **2** so günstig beeinflusst, dass beide Flügelsegmente I,II in jedem Umlaufsektor antreibend (+) wirken. Dabei ist die tangentiale Antriebskraft P des ersten Flügelsegments I in dem leeseitigen Umlaufsektor besonders groß, während die

tangentiale Antriebskraft  $P$  des zweiten Flügelsegments II im luvseitigen Sektor der Umlaufbahn  $U$  besonders groß ist. Exemplarisch für die acht dargestellten Positionen des ersten Flügelsegments I und des zweiten Flügelsegments II sind in einer Position jeweils die Strömungsgeschwindigkeiten  $a$ , die Umlaufgeschwindigkeit  $b$ , die radiale Schubgeschwindigkeit  $c$  und die resultierende Anströmgeschwindigkeit  $d$  mit Anströmwinkel  $\delta$ , sowie die Auftriebskraft  $L$ , die Sogkraft  $S$  und die tangentiale Antriebskraft  $P$ , als Vektoren dargestellt.

**[0054] Fig. 28** zeigt in den Horizontalschnitten E-E und E'-E' die aerodynamische Wirkung des in **Fig. 26** dargestellten Sinkflugs der Rotorblätter **105**. Der Sinkflug bewirkt an den Flügelsegmenten I,II des Wendeflügels **2** eine Schubrichtung  $K$ , die sich mit einer radialen Schubgeschwindigkeit  $c$  in jedem Sektor der Umlaufbahn  $U$  an den Flügelsegmenten I,II verzögernd (-) auswirkt, wobei die in Drehrichtung  $R$  verzögernd (-) wirkenden Kräfte wesentlich geringer sind, als die in **Fig. 27** verzeichneten tangentialen Antriebskräfte  $P$ . Der in **Fig. 26** dargestellte Sinkflug erzeugt jedoch an den Rotorblättern **105** ebenfalls tangentiale Antriebskräfte  $P$ , die die in **Fig. 28** dargestellten, verzögernd (-) wirkenden Kräfte überwiegen.

**[0055] Fig. 29** zeigt einen Strömungskonverter **1** als Windturbine **18**, bei der die Rotationsachse  $Y$  des Rotors **10** über ein Kardangelenk **108** mit der ortsfesten Drehimpulsachse  $X$  des Strömungskonverters **1** verbunden ist. Das Kardangelenk **108** ist im Schwerpunkt des Rotors **10**, der als Kreisel **107** ausgebildet ist, angeordnet. Der Kreisel **107** besteht aus einem Speichenrad **100**, dessen äußerer Druckring von einem Ringflügel **101** als Schwungmasse gebildet wird. An ihrem mittleren Wendepunkt  $W$  sind insgesamt sechs radial gleichmäßig voneinander beabstandete Wendeflügel **2** mit dem Speichenrad **100** verbunden, dessen Speichen von Rotorblättern **105** gebildet werden. Die Wirkung der Rotorblätter **105** entspricht dem in **Fig. 25-Fig. 26** erläuterten Ausführungsbeispiel. Druckpunktlinie **21** der Wendeflügel **2** erstreckt sich jeweils von dem unteren Endpunkt **E1** bis zu dem oberen Endpunkt **E2** über eine Höhe  $h$ , wobei die Saugseite in dem ersten Flügelsegment I an dem mittleren Wendepunkt  $W$  von der Außenseite an dem zweiten Flügelsegment II auf die Innenseite der Umlaufbahn  $U$  wechselt. An einem kräftefreien, gefesselten Kreisel **107** kommt es zu einer regelmäßigen Kippbewegung, die als Nutation oder auch als reguläre Präzession bezeichnet wird. Das Verkippen des Rotors **10** führt an den Flügelsegmenten I,II eines Wendeflügels **2** und an den als Speichen ausgebildeten Rotorblättern **105**, wie in den **Fig. 24 bis Fig. 28** in den Schnitten D-D, D'-D' und E-E, E'-E' erläutert, zu einem Schub mit Schubrichtung  $K$  und einer Schubgeschwindigkeit  $c$ , der sich positiv auf den Anströmwinkel  $\delta$  der Flügelsegmente I,II und der Rotorblätter **105** auswirkt. Der Generator **14** ist der ortsfesten Drehimpulsachse  $X$  zugeordnet und sitzt auf einem Mast **153**, der das Tragwerk **15** des Strömungskonverters bildet. Die Nutation des Kreisels **107** kann durch nicht näher dargestellte, pneumatische oder hydraulische Steuerelemente angeregt werden.

**[0056] Fig. 30** zeigt die Windturbine **18** nach **Fig. 29** in einer Schnittansicht mit einem um den Schwenkwinkel  $\lambda$  gegenüber der Drehimpulsachse  $X$  verkippten Rotor **10** mit Angabe der in **Fig. 27-Fig. 28** dargestellten Schnitte D-D, E-E und D'-D', E'-E'.

**[0057] Fig. 31** zeigt eine kleine Windturbine **18** mit einer horizontalen Rotationsachse  $Y$  als Luv-Läufer, die über ein Azimutlager **16** mit Drehachse  $O$  an einen Mast **153** angelenkt ist und sich selbsttätig zur Strömung  $F$  ausrichtet, in einer leeseitigen Perspektive. Der Rotor **10** der kleinen Windturbine **18** weist ein Speichenrad **100** auf, bei dem zwölf, als Zugglieder ausgebildete Speichen, einen Ringflügel **101**, der den äußeren Druckring des Speichenrads **100** bildet, mit einer Nabe **103**, die den Generator **14** aufnimmt, verspannen. Die Windturbine **18** wird von insgesamt zwölf Wendeflügeln **2** angetrieben, die mit einem radialen Abstand auf der Außenseite eines Ringflügels **101**, der den äußeren Druckring eines Speichenrads **100** bildet, angeordnet. Die Druckpunktlinie **21** eines Wendeflügels **2** erstreckt sich mit einem Neigungswinkel  $\alpha$  über eine Höhe  $h$  zwischen den Endpunkten **E1**, **E2** von Luv nach Lee und definiert eine Rotationsfläche **13** als Umlaufbahn  $U$ , die als Zylinderfläche **130** ausgebildet ist. Jeweils an dem mittleren Wendepunkt  $W$  wechselt die Saugseite des ersten Flügelsegments I von der Außenseite der Umlaufbahn  $U$  an dem Flügelsegment II auf die Innenseite der Umlaufbahn  $U$ .

**[0058] Fig. 32** zeigt einen perspektivischen Detailschnitt durch den Rotor **10** der Windturbine **18** nach **Fig. 31** mit Darstellung des strömungsdynamischen Zusammenwirkens des Ringflügels **101** und eines Wendeflügels **2**. Der Ringflügel **101** hat ein asymmetrisches Flügelprofil **20**, dessen Profilschne  $q$  sich von einer luvseitigen Flügel Nase **200** bis zu einer leeseitigen Flügelhinterkante **201** erstreckt und ist dazu ausgebildet, die Strömung  $F$  an dem luvseitigen ersten Flügelsegment I nach außen von der Rotationsachse  $Y$  des Rotors **10** weg und an dem leeseitigen zweiten Flügelsegment II nach innen zu der Rotationsachse  $Y$  hin zu lenken.

**[0059] Fig. 33** zeigt die kleine Windturbine **18** nach **Fig. 31** und **Fig. 32** in einer luvseitigen Ansicht mit exemplarischer Darstellung der tangentialen Antriebskräfte  $P$ , die jeweils von den Flügelsegmenten I,II eines Wendeflügels **2** bewirkt werden. Die in **Fig. 32** dargestellte Umlenkung der Strömung  $F$  erzeugt an dem ersten Flügelsegment I eine nach außen gerichtete Sogkraft  $S$  mit einer tangentialen Antriebskraft  $P$  und an dem

zweiten Flügelsegment II eine nach innen gerichtete Sogkraft  $S$  mit einer tangentialen Antriebskraft  $P$ , jeweils als Komponenten der Auftriebskräfte  $L$ , sodass sich die von den Flügelsegmenten I,II bewirkten Sogkräfte  $S$  gegenseitig kompensieren. Bei diesem Strömungskonverter **1** mit einem Durchmesser von 2,5 m fallen die Drehimpulsachse  $X$  und die Rotationsachse  $Y$  in einer horizontalen Achse zusammen, wobei der Läufer mit der Nabe **103** und der Statorring des Generators **14** mit dem Mast **153** verbunden sind.

**[0060]** Fig. 34 zeigt eine große Windturbine **18** mit einem Durchmesser von 250m in einer luvseitigen Perspektive. Die Windturbine **18** entspricht in ihrer aerodynamischen Wirkung dem in Fig. 30-Fig. 32 erläuterten Ausführungsbeispiel, wobei der Rotor **10** nicht nur von den zwölf Wendeflügeln **2** auf der Außenseite des Speichenrads **100**, sondern auch von zwölf, als Rotorblätter **105** ausgebildeten Speichen des Speichenrads **100** angetrieben wird. Die Rotorblätter **105** sind in sich verwunden und weisen ein an die jeweilige Umlaufgeschwindigkeit angepasstes, asymmetrisches Flügelprofil **20** auf und verbinden als zugbeanspruchte Speichen den Ringflügel **101** mit der Nabe **103**. Das Azimutlager **16** mit Drehachse  $O$  an der Basis des verzweigten Masts **153** dient der selbsttätigen Ausrichtung der Windturbine **18** zur Strömung  $F$ .

**[0061]** Fig. 35 zeigt einen Detailschnitt durch den Ringflügel **101** der Windturbine **18** nach Fig. 34 mit Darstellung der laminaren Umströmung des Ringflügels **101**. Der Ringflügel **101** weist im Querschnitt ein gedrungenes asymmetrisches Flügelprofil **20** auf, dessen Profilhöhe  $q$  sich parallel zu der Rotationsachse  $Y$  des Rotors **10** von der Flügelnahe **200** bis zur Flügelhinterkante **201** erstreckt. Die laminare Umströmung des Ringflügels **101** bewirkt an den Flügelsegmenten I,II des sich zwischen den Endpunkten  $E1, E2$  von Luv nach Lee erstreckenden Wendeflügeln **2**, tangentiale Antriebskräfte  $P$ , die in Fig. 36 dargestellt sind.

**[0062]** Fig. 36 zeigt einen vertikalen Detailschnitt durch den Ringflügel **101** der Windturbine **18**, nach Fig. 34 und Fig. 35, der senkrecht zu der Druckpunktlinie **21** des Wendeflügels **2** verläuft. Beträgt die Umlaufgeschwindigkeit das etwa Vierfache der Strömungsgeschwindigkeit, resultiert daraus eine Anströmgeschwindigkeit  $d$ , die mit einem Anströmwinkel  $\delta$  auf das luvseitige Flügelsegment I und auf das leeseitige Flügelsegment II des Wendeflügels **2** trifft und jeweils eine Auftriebskraft  $L$  bewirkt, bei der die tangentialen Antriebskräfte  $P$  in Drehrichtung  $R$  des Rotors **10** wirken und die resultierenden Sogkräfte  $S$  einander gegenseitig kompensieren. Beim Anlaufen des Rotors **10** entstehen aus der starken Umlenkung der Strömung  $F$  an dem Ringflügel **101** große tangentiale Antriebskräfte  $P$ , während sich der Anströmwinkel  $\delta$  mit wachsender Umlaufgeschwindigkeit des Rotors **10** zunehmend abflacht, wobei der Ringflügel **101** senkrecht zu der Druckpunktlinie **21** des Wendeflügels **2** diagonal überströmt wird.

**[0063]** Fig. 37 zeigt einen Strömungskonverter **1**, der als Windturbine **18** eine vereinigte Drehimpuls- und Rotationsachse  $X, Y$  hat und sich an dem Azimutlager **16** um die vertikale Drehachse  $O$  selbsttätig zur Strömung  $F$  ausrichtet. Der Rotor **10** ist als Speichenrad **100** ausgebildet, das mittels von 12 Speichen mit einer den Generator **14** aufnehmenden Nabe **103** verbunden ist. Der Druckring des Speichenrads **100** weist eine Gitterschale **151** auf, die von einer Mehrzahl von Wendeflügeln **2** gebildet wird, deren Druckpunktlinien **21** auf der Oberfläche einer als Ringtorus **133** ausgebildeten Rotationsfläche **13** zu einem Netz **213** verbunden sind. Dabei überkreuzen sich die Druckpunktlinien **21** einer ersten Schar von Wendeflügeln **2**, die sich mit einem tangentialen Neigungswinkel  $\alpha$  von Endpunkten  $E1$  auf dem inneren Scheitel des Ringtorus **133** über eine Höhe  $h$  zu den Endpunkten  $E2$  auf dem äußeren Scheitel des Ringtorus **133** erstrecken, mit den Druckpunktlinien **21** einer zweiten Schar von Wendeflügeln **2**, die sich mit einem gegensinnigen tangentialen Neigungswinkel  $\alpha'$  ebenfalls von Endpunkten  $E1$  auf der inneren Scheitellinie des Ringtorus über die Höhe  $h$  bis zu den Endpunkten  $E2$  auf der äußeren Scheitellinie des Ringtorus **133** erstrecken. Eine Mehrzahl von Knotenpunkten  $E1$  und eine Mehrzahl von Knotenpunkten  $E2$  verbinden die luvseitige mit der leeseitigen Hälfte des Ringtorus **133**, wobei die Druckpunktlinien **21** der einzelnen Wendeflügel **2** jeweils zu Endlosschleifen **212** zusammengeschlossen werden. An einer Mehrzahl von mittleren Wendepunkten  $W$ , wie in Fig. 38 näher erläutert, wechselt die Saugseite des ersten Flügelsegments I eines Wendeflügels **2** von der Außenseite an dem zweiten Flügelsegment II auf die Innenseite der Umlaufbahn  $U$ , die von dem Ringtorus **133** definiert wird. Die in der Strömung  $F$  rotative Wirkung der untereinander zu einer biege-, schub- und torsionssteifen Gitterschale **151** verbundenen Wendeflügel **2** mit einer tangentialen Antriebskraft  $P$  an dem ersten Flügelsegment I und an dem zweiten Flügelsegment II jedes einzelnen Wendeflügels **2** beruht in der luvseitigen Hälfte der Gitterschale **151** auf einer Umlenkung der Strömung  $F$ , für die die Gitterschale **151** einen Widerstand darstellt, dem sie sowohl an der Außenseite als auch an der Innenseite der Gitterschale ausweicht. Die damit verbundene Richtungsänderung der Strömung  $F$  beeinflusst den Anströmwinkel  $\delta$  der Flügelsegmente I,II in der luvseitigen Hälfte der Gitterschale so, dass daraus an den Flügelsegmenten I,II eine tangentiale Antriebskraft  $P$  bewirkt wird. Da die Gitterschale **151** von der Strömung  $F$  aber auch durchströmt wird, erzeugt die leeseitige Hälfte der Gitterschale **151** ebenfalls an beiden Flügelsegmenten I,II eines Wendeflügels **2** eine tangentiale Antriebskraft  $P$ . Alternativ zu der hier gezeigten Ausführung, bei der die von den Wendeflügeln **2** gebildete Gitterschale **151**

selbsttragend ausgebildet ist, kann ein Stahlrohring innerhalb der Gitterschale **151** angeordnet werden, der mit einem Durchmesser von 2-3 m dem Radius der Gitterschale **151** folgt und als Druckring des Speichenrads **100** die allseitig umgebende Gitterschale **151** trägt. Die Windturbine **18** mit einem Durchmesser des Rotors **10** von 250 m lässt eine Leistung von mehr als 15 MW erwarten.

**[0064] Fig. 38** zeigt die Windturbine **18** nach **Fig. 37** in einer luvseitigen Ansicht und in einem schematischen Querschnitt durch den, als Gitterschale **151** ausgebildeten Druckring des Speichenrads **100**. Die Gitterschale **151** ist aus einer luvseitigen und einer leeseitigen Halbschale aufgebaut. Dabei bilden die Druckpunktlinien **21** einer Mehrzahl von Wendeflügeln **2** ein Netz **213** auf der Oberfläche der als Ringtorus **133** ausgebildeten Rotationsfläche **13**. Jeweils an innenseitigen Endpunkten **E1** und an außenseitigen Endpunkten **E2** sind die Wendeflügel **2** untereinander zu einer Endlosschleife **212** verbunden und erstrecken sich jeweils über eine Höhe  $h$  in der luvseitigen Halbschale von Luv nach Lee und in der leeseitigen Halbschale von Lee nach Luv. An einem mittleren Wendepunkt **W** wechselt die Saugseite des ersten Flügelsegments I von der Außenseite der Umlaufbahn **U** in dem zweiten Flügelsegment II auf die Innenseite der Umlaufbahn **U**. Bei diesem Speichenrad **100** sind die Speichen als reine Zugglieder ausgebildet und verzweigen sich im Inneren des Ringtorus **133** zu den Knotenpunkten **N** der Gitterschale **151**.

**[0065] Fig. 39** zeigt eine Bilanz der Sogkräfte **S** auf einer von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$  unterteilten Umlaufbahn **U** in einem Diagramm. Dabei betrifft die linke Hälfte des Diagramms den leeseitigen Teil der Umlaufbahn **U** von  $0^\circ$ - $180^\circ$  und die rechte Hälfte den luvseitigen Teil der Umlaufbahn **U** von  $180^\circ$ - $360^\circ$ . Die obere Hälfte des Diagramms zeigt die von dem ersten Flügelsegment I bewirkten Sogkräfte **S**, während die untere Hälfte des Diagramms die von dem zweiten Flügelsegment II bewirkten Sogkräfte **S** zeigt. Die als durchgezogene Linie dargestellte Kurve steht für die symmetrischen Flügelprofile eines dem Stand der Technik entsprechenden Darrieus-Rotors. Man erkennt, dass die Sogkräfte **S** hier ausschließlich auf der Leeseite wirken und zu einem sehr großen Rotorschub führen. Die gestrichelten Kurven stehen für erfindungsgemäße Strömungskonverter, die den in **Fig. 1-Fig. 12** dargestellten Ausführungsbeispielen entsprechen, während die aus Dreiecken aufgebauten Kurven für die in **Fig. 13-Fig. 23** dargestellten Ausführungsbeispiele stehen und die gepunkteten Kurven dem in **Fig. 24-Fig. 30** gezeigten Ausführungsbeispiel entsprechen. Das Diagramm zeigt mit den gestrichelten Kurven und mit den aus Dreiecken aufgebauten Kurven eine weitgehende Kompensation der Sogkräfte im luvseitigen und im leeseitigen Teil der Umlaufbahn der jeweiligen Strömungskonverter, während die gepunktete Kurve eine vollständige Kompensation der Sogkräfte zeigt. In dem Diagramm wird auch deutlich, dass die von einem asymmetrischen Flügelprofil bewirkten Auftriebskräfte und damit auch die Sogkräfte **S** wesentlich größer sind, als die von dem symmetrischen Flügelprofil eines herkömmlichen Darrieus-Rotors bewirkten Sogkräfte **S**.

**[0066] Fig. 40** zeigt die tangentialen Antriebskräfte **P** in einem Diagramm ebenfalls für den luv- und leeseitigen Teil der Umlaufbahn **U** eines Wendeflügels. Auch hier stehen die durchgezogenen Kurven für einen Darrieus-Rotor mit symmetrischen Flügelprofilen, der jeweils an den luv- und leeseitigen Scheitelpunkten der Umlaufbahn **U** maximale tangentiale Antriebskräfte **P** hat, während die tangentialen Antriebskräfte **P** an den Scheitelpunkten der Umlaufbahn **U** am Übergang von Luv nach Lee auf 0 zurückgehen. Die von den asymmetrischen Flügelprofilen der Strömungskonverter nach **Fig. 1-Fig. 12** bewirkten Antriebskräfte **P**, die mit einer gestrichelten Kurve dargestellt sind, wirken im luvseitigen Teil der Umlaufbahn **U** an dem Flügelsegment I antreibend (+) mit maximalen Antriebskräften **P** am luvseitigen Scheitelpunkt, während sie im leeseitigen Teil der Umlaufbahn **U** abnehmen und teilweise verzögernd (-) wirken und sich die Kräfteverhältnisse an dem zwei Flügelsegment II umkehren. Dasselbe gilt auch für die aus Dreiecken aufgebauten Kurven, die den in **Fig. 13-Fig. 23** dargestellten Ausführungsbeispielen entsprechen. Die gepunkteten Kurven repräsentieren die in **Fig. 24-Fig. 30** dargestellten Ausführungsbeispiele und führen in der Bilanz zu tangentialen Antriebskräften **P** an jedem Punkt der Umlaufbahn **U**.

#### Bezugszeichenliste

Strömungskonverter	1	Drehimpulsachse	X
Rotor	10	Rotationsachse	Y
Speichenrad	100	Wendeflügel	2
Ringflügel	101	Drehrichtung	R
Tragarm	102	Umlaufbahn	U
Nabe	103	Schubrichtung	K
Nabengelenk	104	Schwenkachse	Z

Rotorblatt	105	Schwenkwinkel	$\lambda$
Reuleaux-Dreieck	106	Erstes Flügelsegment	I
Kreisel	107	Zweites Flügelsegment	II
Kardangelenken	108	Asymmetrisches Flügelprofil	20
Planetengeräte	11	Flügel Nase	200
Sonnenrad	110	Flügelhinterkante	201
Planetenrad	111	Profilsehne	q
Hohlrad	112	Druckpunktlinie	21
Planetenträger	113	Höhe	h
Hypozykloide	114	Endpunkte	E1, E2
Epizykloide	115	Wendepunkt	W
Steuerelement	12	Knotenpunkt	N
Zylinder	120	Gerade	210
Flügelklappe	121	Kurve	211
Rotationsfläche	13	Endlosschleife	212
Zylinderfläche	130	Netz	213
Rotationshyperboloid	131	Tangentialer Neigungswinkel	$\alpha, \alpha'$
Kugelschichtfläche	132	Flügelkette	22
Ringtorus	133	Profilschale	23
Generator	14	Strömung	F
Radnabengenerator	140	Strömungsgeschwindigkeit	a
Ringgenerator	141	Umlaufgeschwindigkeiten	b, b'
Tragwerk	15	Schubgeschwindigkeit	c
Seilnetz	150	Anströmgeschwindigkeit	d
Gitterschale	151	Anströmwinkel	$\delta$
Fahrgestell	152	Auftriebskraft	L
Mast	153	Sogkraft	S
Strömungsleitwand	154	Tangentiale Antriebskraft	P
Azimutlager	16	Drehachse	$\underline{O}$
Wasserturbine	17	Antreibend	(+)
Windturbine	18	Verzögernd	(-)

### Patentansprüche

1. Strömungskonverter (1) mit einer vertikal oder horizontal angeordneten ortsfesten Drehimpulsachse (X) und mindestens einem Rotor (10) mit einer Rotationsachse (Y), der dazu ausgebildet ist mittels von mindestens einem Flügel die in einer Strömung (F) enthaltene kinetische Energie in eine Drehbewegung mit Drehrichtung (R) und mittels eines Generators (14) in elektrischen Strom zu wandeln, welcher Flügel mit gleichbleibenden oder wechselnden radialen Abständen zu der Rotationsachse (Y) des Rotors (10) eine Umlaufbahn (U) definiert und im Querschnitt ein mit der Flügel Nase (200) in Drehrichtung (R) ausgerichtetes asymmetrisches Flügelprofil (20) mit einer Saug- und einer Druckseite hat und mit seiner Profilsehne (q) tangential zu der Umlaufbahn (U) ausgerichtet ist und sich dabei zwischen zwei Endpunkten (E1,E2) über eine Höhe (h) entlang einer Druckpunktlinie (21) erstreckt, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Flügel als Wendeflügel (2) ausgebildet ist und ein erstes Flügelsegment (I), dessen Saugseite auf der Außenseite der Umlaufbahn (U) liegt, sowie ein zweites Flügelsegment (II), dessen Saugseite auf der der Rotationsachse (Y) zugewandten Innenseite der Umlaufbahn (U) liegt, aufweist, wobei die Druckpunktlinie (21) einen zwischen den Endpunkten (E1,E2) angeordneten mittleren Wendepunkt (W) hat, an dem die Saugseite

der Flügelsegmente (I, II) von der Außenseite zu der Innenseite der Umlaufbahn (U) wechselt, sodass die aus den Auftriebskräften (L) der Flügelsegmente (I, II) resultierenden Sogkräfte (S) einander weitgehend gegenseitig kompensieren und sich die tangentialen Antriebskräfte (P) der Flügelsegmente (I, II) addieren.

2. Strömungskonverter (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Druckpunktlinie (21) eines Wendeflügels (2) einen tangentialen Neigungswinkel ( $\alpha$ ) aufweist und eine Rotationsfläche (13) um die Rotationsachse (Y) des Rotors (10) definiert und dabei als Gerade (210) ein Rotationshyperboloid (131) und als Kurve (211) z.B. eine Zylinderfläche (130) oder eine Kugelschichtfläche (132) definiert oder dass die Druckpunktlinien (21) einer Mehrzahl von Wendeflügeln (2) jeweils an ihren Endpunkten (E1,E2) zu einer Flügelkette (22) verkettbar sind, die im Falle einer als Ringtorus (133) ausgebildeten Rotationsfläche (13) eine Endlosschleife (212) bildet oder dass die Druckpunktlinien (21) einer Mehrzahl von Wendeflügeln (2) mit einem gegensinnigen Neigungswinkel ( $\alpha, \alpha'$ ) einander jeweils an den Wendepunkten (W) und an zwischen den Endpunkten (E1,E2) angeordneten Knotenpunkten (N) durchdringen und ein Netz (213) auf einer der Rotationsflächen (13) bilden.

3. Strömungskonverter (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Flügelsegment (I) eines Wendeflügels (2) mit einem tangentialen Neigungswinkel ( $\alpha$ ) in Drehrichtung (R) vorausläuft, wobei die Druckpunktlinie (21) im Falle einer Geraden (210) die Endpunkte (E1, E2) auf der Oberfläche eines virtuellen Rotationshyperboloids (131) und im Falle einer Kurve (211) auf der Oberfläche eines virtuellen ovalen Zylinders oder auf der Oberfläche eines virtuellen Prismas verbindet, wobei im Falle eines ovalen Zylinders die ovale Grund- und Deckflächen und im Falle eines Prismas mit gewölbten Seitenflächen die polygonalen Grund- und Deckflächen miteinander verbunden werden.

4. Strömungskonverter (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Mehrzahl von Wendeflügeln (2), deren Druckpunktlinien (21) eine Gerade (210) aufweisen, an ihren Endpunkten (E1,E2) zu einer Flügelkette (22) verkettbar sind und z.B. aus einem profilierten Blechband oder aus einem faserverstärkten Verbundwerkstoff hergestellt werden, wobei eine Mehrzahl von Flügelketten (22) mit einem Neigungswinkel ( $\alpha$ ) sich jeweils an ihren mittleren Wendepunkten (W) mit einer Mehrzahl von Flügelketten (22) mit einem Neigungswinkel ( $\alpha'$ ) überkreuzen und ein Netz (213) mit rautenförmigen Maschen bilden.

5. Strömungskonverter (1) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das von den Druckpunktlinien (21) einer Mehrzahl von Wendeflügeln (2) gebildete Netz (213) ein Rotationshyperboloid (131) definiert und als zugbeanspruchtes Seilnetz (150) ausgebildet ist, wobei die Flügelsegmente (I, II) der Wendeflügel (2) Profilschalen (23) aufweisen, die von dem Seilnetz (150) getragen werden und das Seilnetz (150) jeweils über ein oberes und ein unteres Speichenrad (100) mit einer konzentrisch und koaxial zu einem zentralen Mast (153) angeordneten Nabe verspannt ist.

6. Strömungskonverter (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das von den Druckpunktlinien (21) einer Mehrzahl von Wendeflügeln (2) gebildete Netz (213) als biege-, schub- und torsionssteife Gitterschale (151) mit Knotenpunkten (N) ausgebildet ist, welche Gitterschale (151) im Falle eines Rotors (10) mit vertikaler Rotationsachse (Y) an ihrer Basis über ein Fahrgestell (152) mit Radsätzen auf kreisringförmigen Schienen läuft, wobei mindestens ein Generator (14) als Radnabengenerator (140) vorgesehen ist und welche Gitterschale (151) im Falle eines Rotors (10) mit horizontaler Rotationsachse (Y) als Ringtorus (133) ausgebildet ist, der jeweils an den mittleren Wendepunkten (W) der Wendeflügel (2) in eine von den Flügelsegmenten (I) gebildete außenseitige Halbschale und eine von den Flügelsegmenten (II) gebildete, der Rotationsachse (Y) zugewandte Halbschale unterteilt ist und den äußeren Druckring eines Speichenrads (100) bildet.

7. Strömungskonverter (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Falle einer horizontalen Rotationsachse (Y) der Rotor (10) ein Speichenrad (100) aufweist, dessen äußerer Druckring als Ringflügel (101) mit einem asymmetrischen Flügelprofil (20) ausgebildet ist, der die Strömung (F) luvseitig von der Rotationsachse (Y) weg und leeseitig zu der Rotationsachse (Y) hin lenkt, sodass an jedem Punkt der Umlaufbahn (U) das erste Flügelsegment (I) eine nach außen gerichtete Auftriebskraft (L) mit einer tangentialen Antriebskraft (P) und das zweite Flügelsegment (II) eine nach innen gerichtete Auftriebskraft (L) mit einer tangentialen Antriebskraft (P) bewirkt, wobei sich die Sogkräfte (S) der Flügelsegmente (I, II) gegenseitig kompensieren und sich die tangentialen Antriebskräfte (P) addieren.

8. Strömungskonverter (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass drei Wendeflügel (2) mit periodisch wechselnden radialen Abständen um die Rotationsachse (Y) rotieren, wobei die Wendeflügel (2) jeweils an ihren Endpunkten (E1, E2) mit einem Rollkörper in Form eines Reuleaux-Dreiecks (106) verbunden sind, der zusammen mit einer Lagerschale in Form eines Quadrats mit gerundeten Ecken ein Lager bildet, sodass die Wendeflügel (2) auf einer quadratischen Umlaufbahn (U) mit gerundeten Ecken laufen und die

Rotationsachse (Y) z.B. über zwei Kardangelenke (108) mit der ortsfesten Drehimpulsachse (X) und mit dem Generator (14) verbunden ist.

9. Strömungskonverter (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine Rotationsachse (Y) eines Rotors (10) mit einem radialen Abstand zu der ortsfesten Drehimpulsachse (X) des Strömungskonverters (1) angeordnet ist und eine Mehrzahl von Wendeflügeln (2) die ortsfeste Drehimpulsachse (X) auf einer Hypozykloide (114) oder auf einer Epizykloide (115) umrunden, wobei im Falle einer Hypozykloide (114) ein, aus einem Sonnenrad (110), mindestens einem Planetenrad (111) und einem Hohlrads (112) bestehendes Planetengetriebe (11) vorgesehen ist und im Falle einer Epizykloide (115) das Planetengetriebe (11) ein feststehendes Sonnenrad (110) aufweist, das von einer Mehrzahl von Planetenrädern (111) umrundet wird um deren Rotationsachsen (Y) jeweils mindestens ein Wendeflügel (2) auf einer Umlaufbahn (U) kreist, sodass die Anströmgeschwindigkeit (d) sowie der Anströmwinkel ( $\delta$ ) an jedem Punkt der Umlaufbahn (U) als Vektorsumme aus Richtung und Betrag der Strömungsgeschwindigkeit (a) und der Umlaufgeschwindigkeit (b) der Wendeflügel (2) um die Rotationsachse (Y) sowie aus der Umlaufgeschwindigkeit (b') der Wendeflügel (2) um die Drehimpulsachse (X) resultieren.

10. Strömungskonverter (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Wendeflügel (2) an seinem mittleren Wendepunkt (W) biegesteif mit einem Auftrieb erzeugenden Rotorblatt (105) verbunden ist, das als radialer Tragarm (102) an seinem nabenseitigen Ende über ein Nabengelenk (104) mit der tangentialen Schwenkachse (Z) an die Nabe (103) des Rotors (10) angelenkt ist und innerhalb eines durch einen Schwenkwinkel ( $\lambda$ ) begrenzten Schwenkbereichs entweder einen selbsttätigen oder aktiv gesteuerten gefesselten Steig- und Sinkflug des Rotorblatts (105) und der Wendeflügel (2) jeweils mit unterschiedlichen Schubrichtungen (K) ermöglicht, sodass die Flügelsegmente (I, II) mit einem Anströmwinkel ( $\delta$ ) und einer Anströmgeschwindigkeit (d) als Vektorsumme aus Richtung und Betrag der Strömungsgeschwindigkeit (a), der Umlaufgeschwindigkeit (b) und einer radialen Schubgeschwindigkeit (c) angeströmt werden.

11. Strömungskonverter (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rotor (10) als gefesselter Kreisel (107) ausgebildet ist, der mit seiner Rotationsachse (Y) über ein Kardangelenk (108) im Schwerpunkt des Kreisels (107) an die ortsfeste Drehimpulsachse (X) des Kreisels (107) angelenkt und mit dem Generator (14) verbunden ist, wobei die regelmäßige Präzessionsbewegung des Kreisels (107) mit einem Schwenkwinkel ( $\lambda$ ) gegenüber der raumfesten Drehimpulsachse (X) genutzt wird, um an den Flügelsegmenten (I, II) tangentiale Antriebskräfte (P) über den Anströmwinkel ( $\delta$ ) und die Anströmgeschwindigkeit (d) als Vektorsumme aus Richtung und Betrag der Strömungsgeschwindigkeit (a), der Umlaufgeschwindigkeit (b) und der radialen Schubgeschwindigkeit (c) zu erzeugen.

12. Strömungskonverter (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Rotor (10) pneumatisch oder hydraulisch betätigte Steuerelemente (12) aufweist, die als Flügelklappen (121) an den Flügelsegmenten (I, II) eines Wendeflügels (2) der Drehzahlbegrenzung des Rotors (10) dienen oder als Zylinder (120) zwischen der ortsfesten Drehimpulsachse (X) und einem Rotor (10) als Kreisel (107) die Nutation des Kreisels (107) steuern und im Falle von Wendeflügeln (2), die über ein Rotorblatt (105) an ein Nabengelenk (104) angelenkt sind, den gefesselten Steig- und Sinkflug der Wendeflügel (2) und des Rotorblatts (105) steuern.

Es folgen 33 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

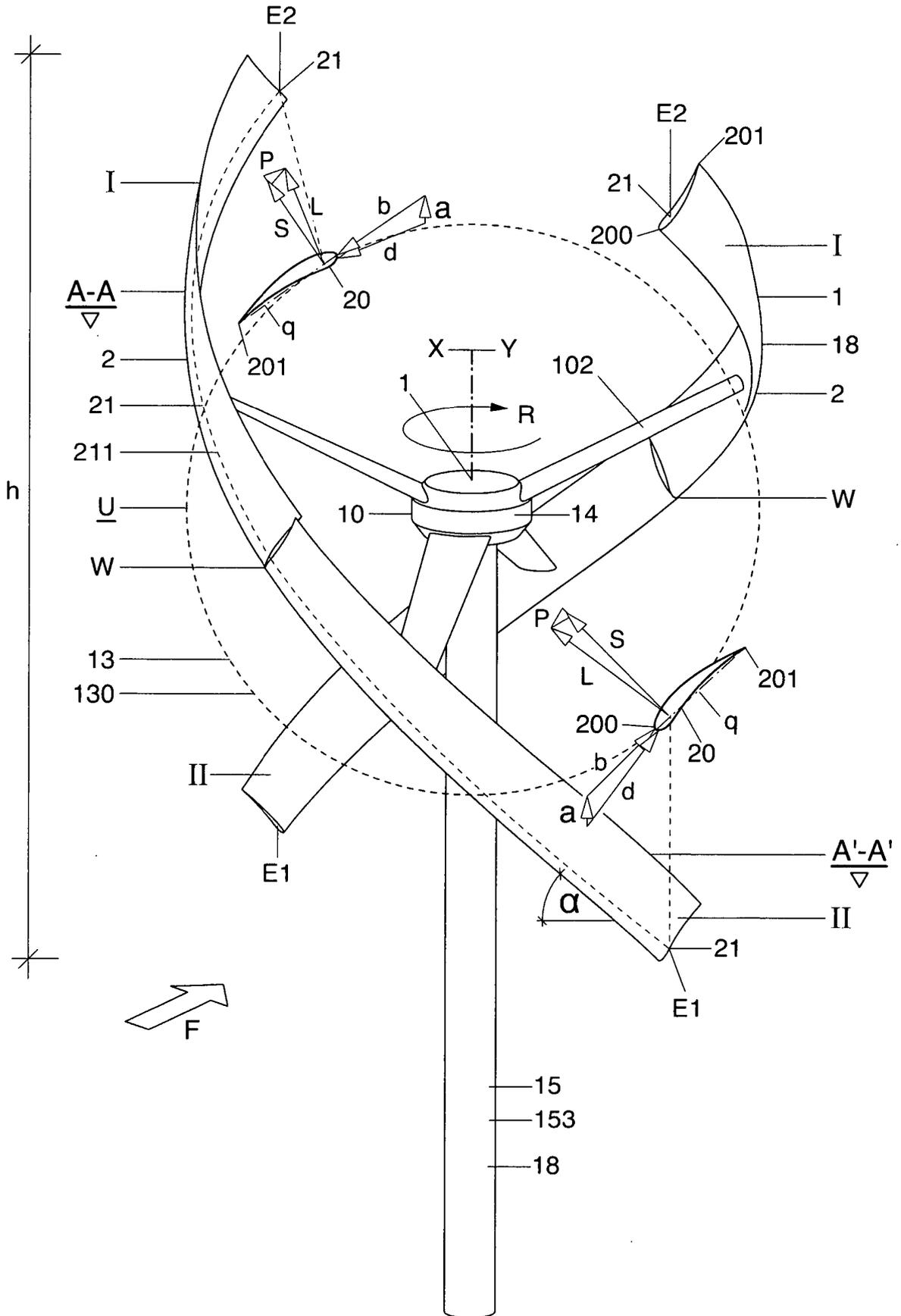
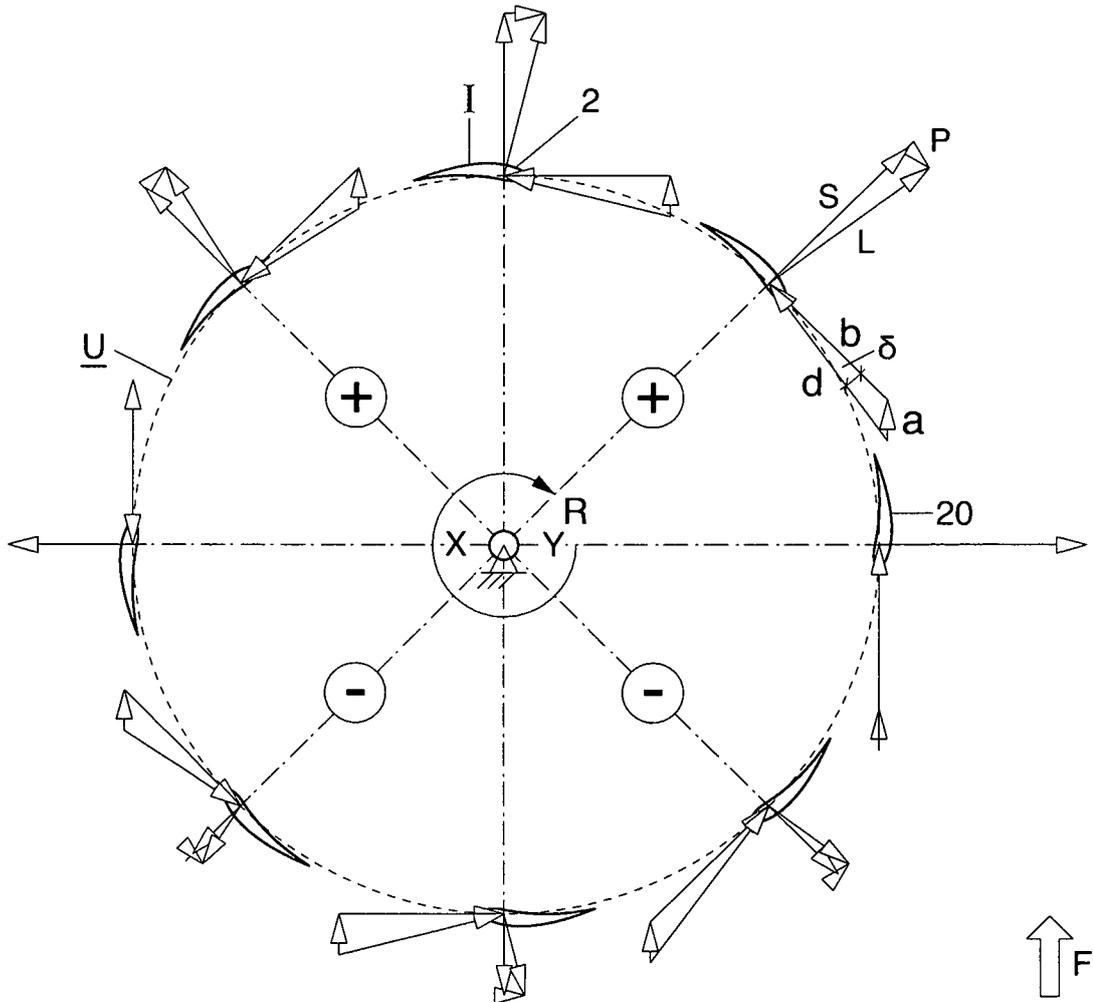


Fig.1

A-A  
▽



A'-A'  
▽

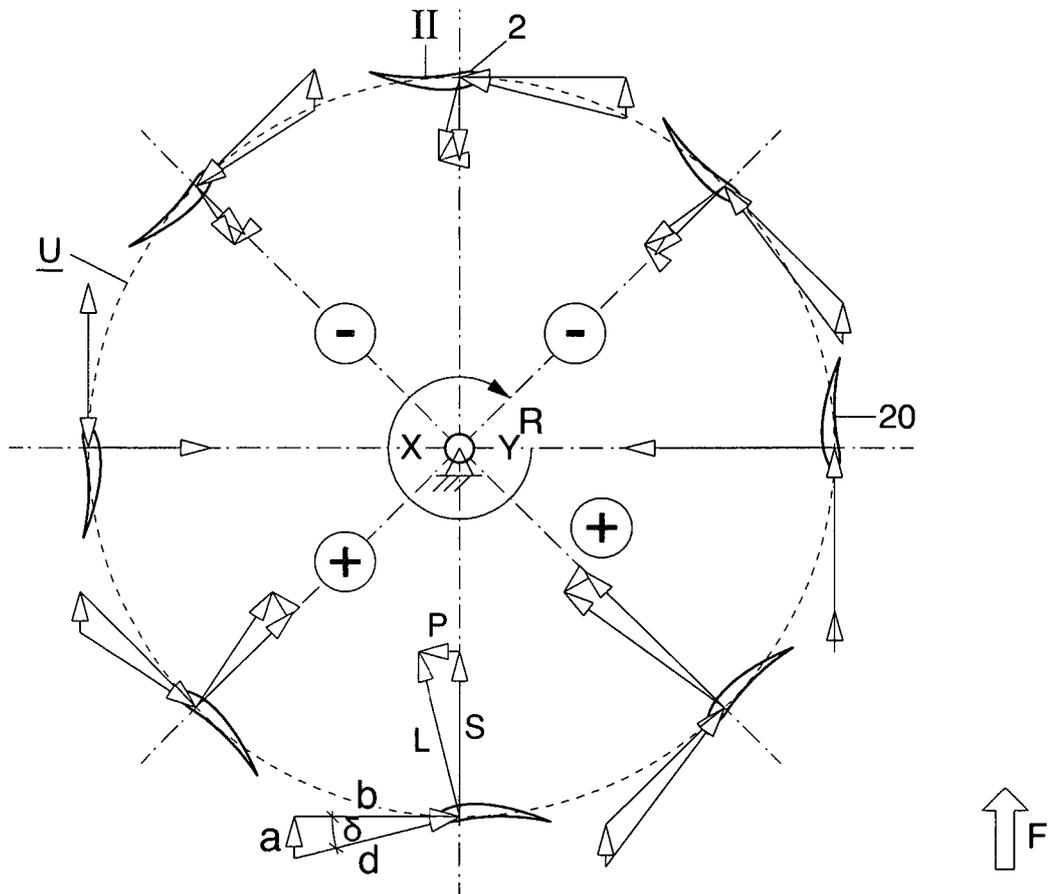


Fig.2



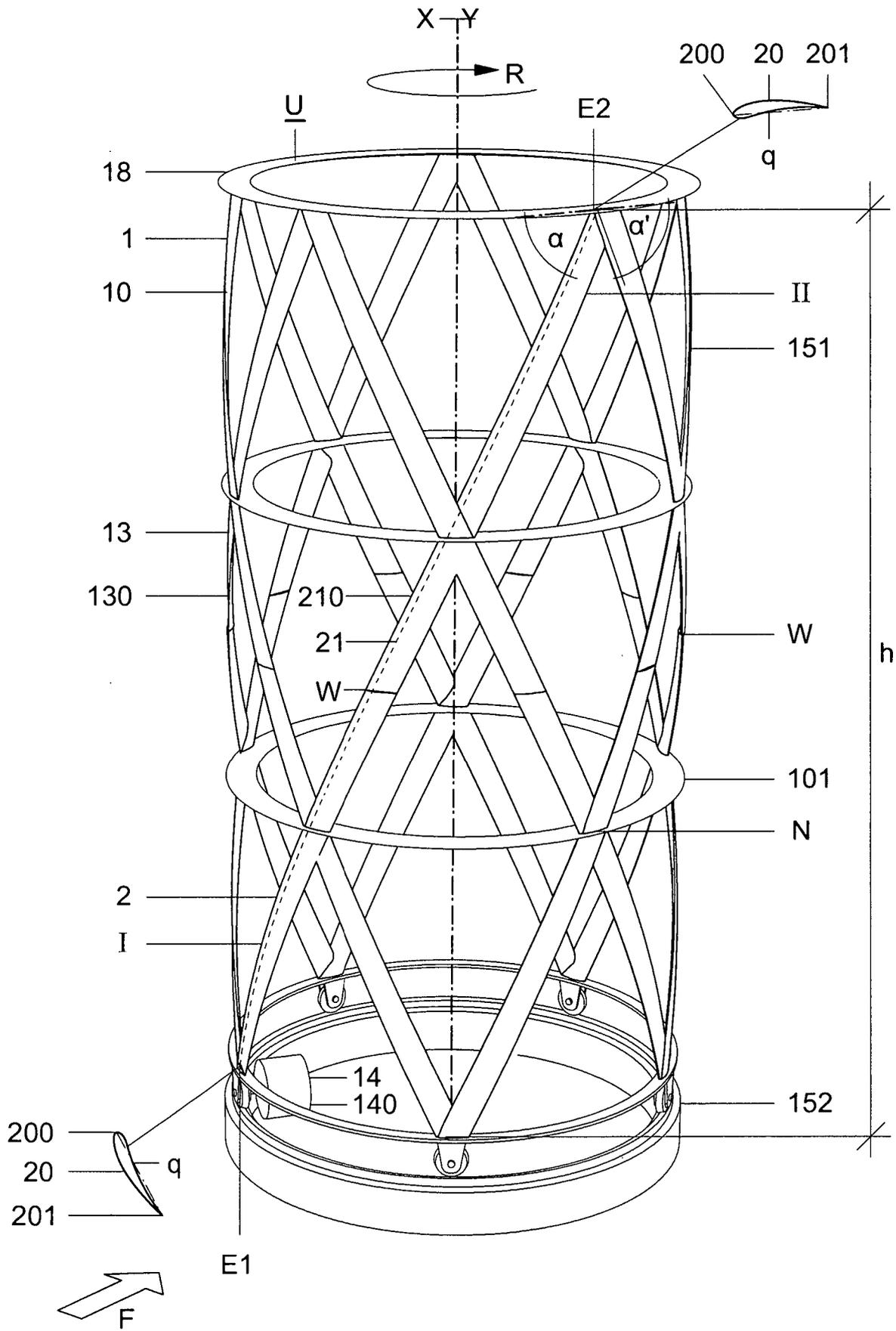


Fig.4

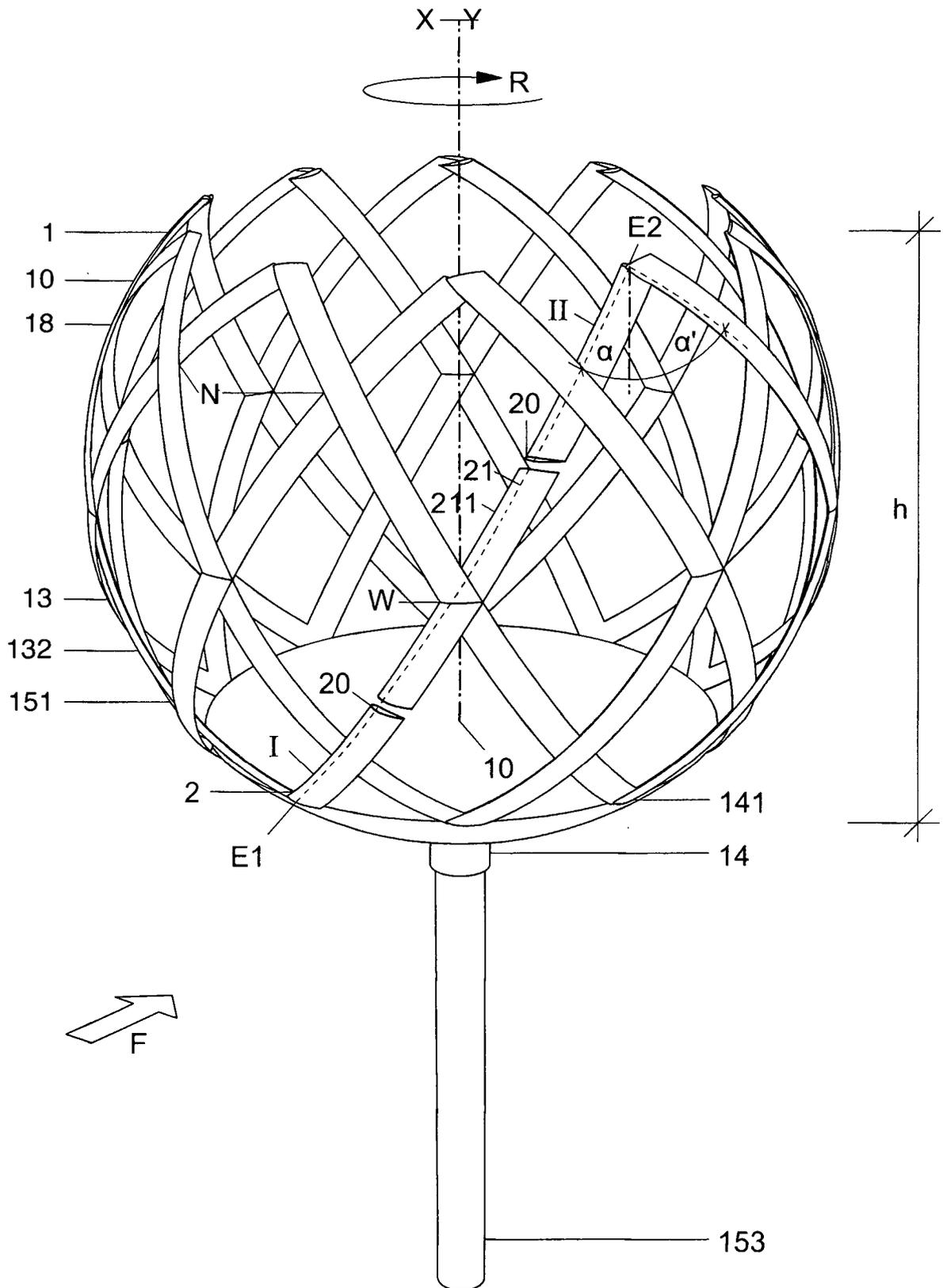


Fig.5

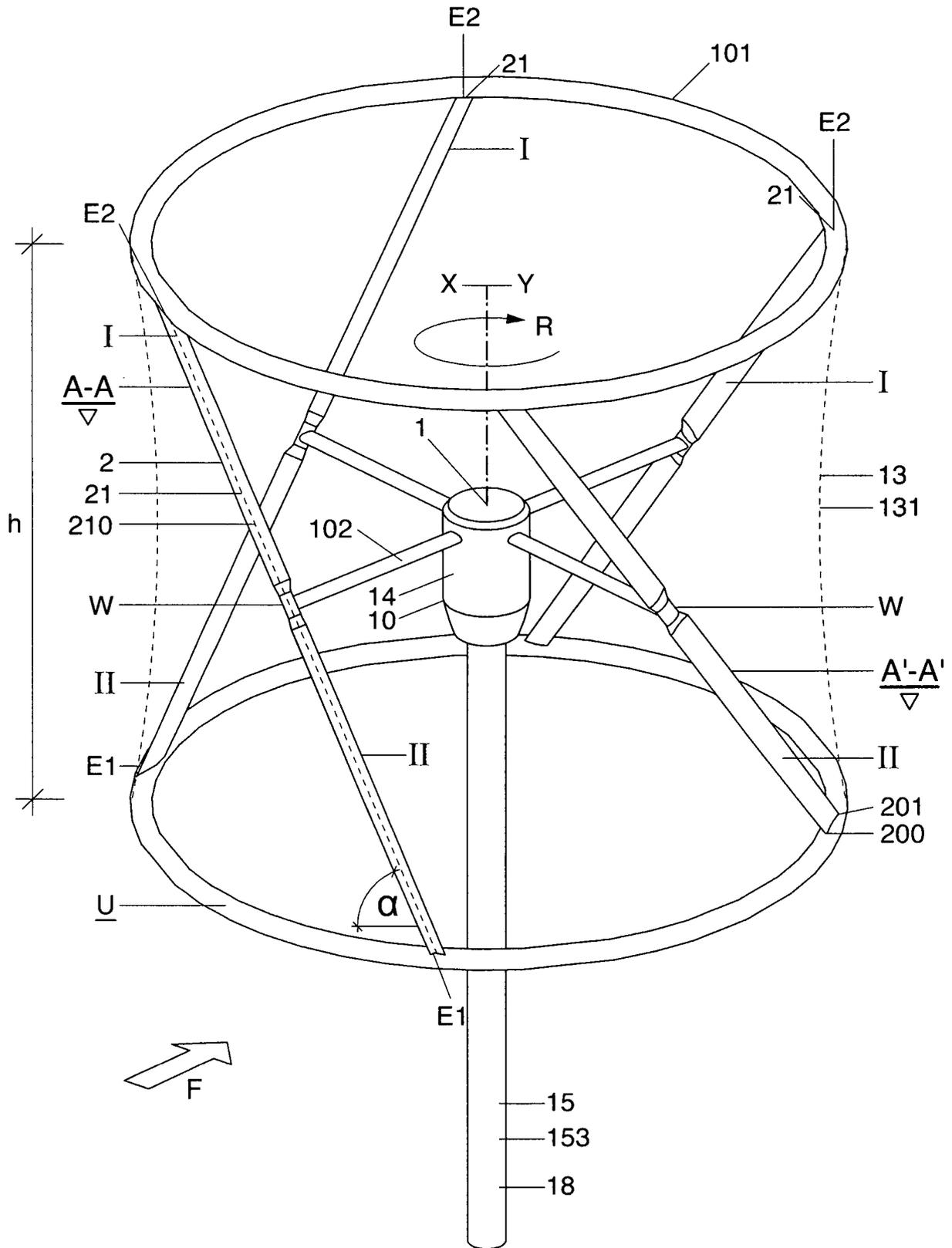


Fig.6

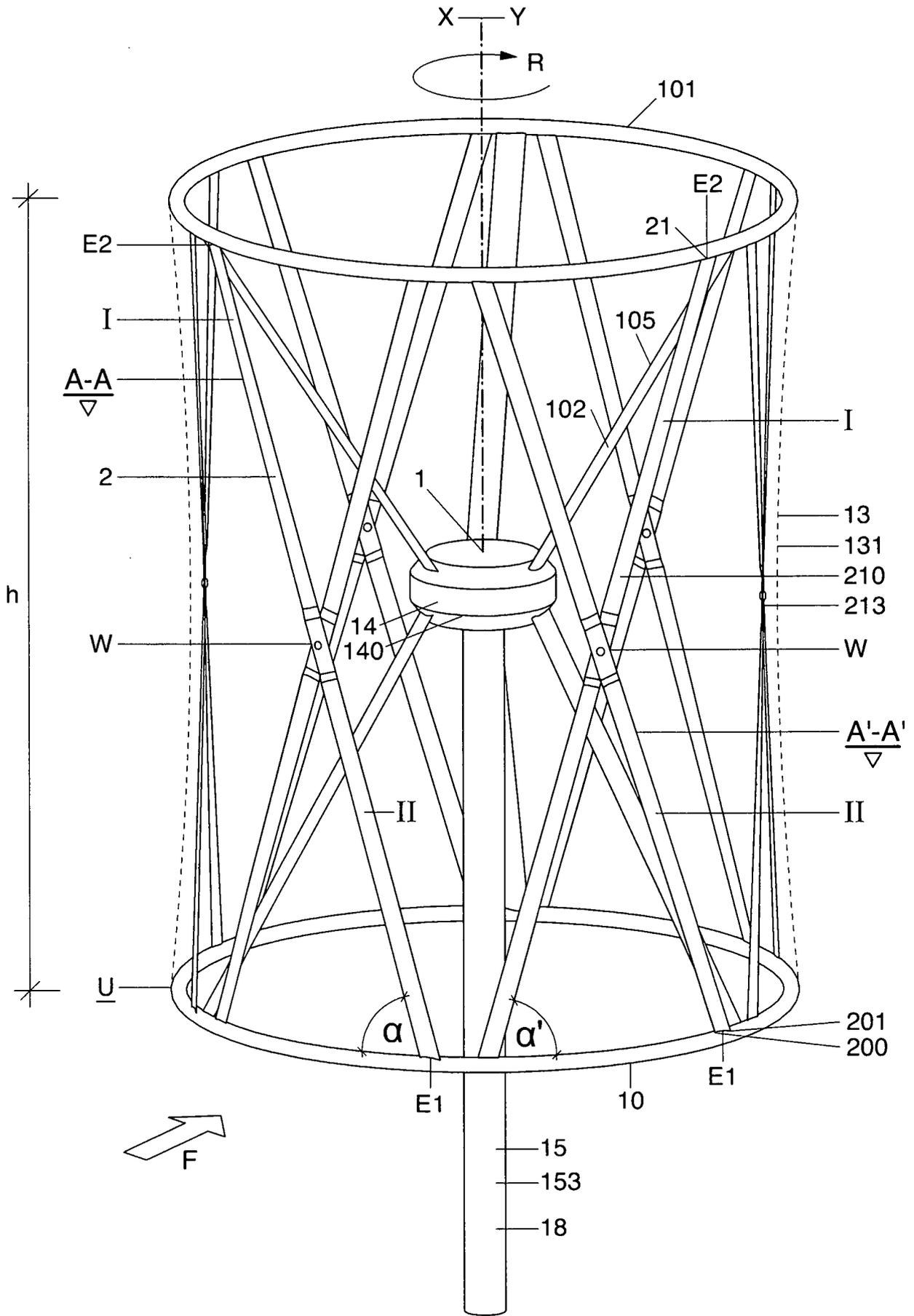


Fig.7

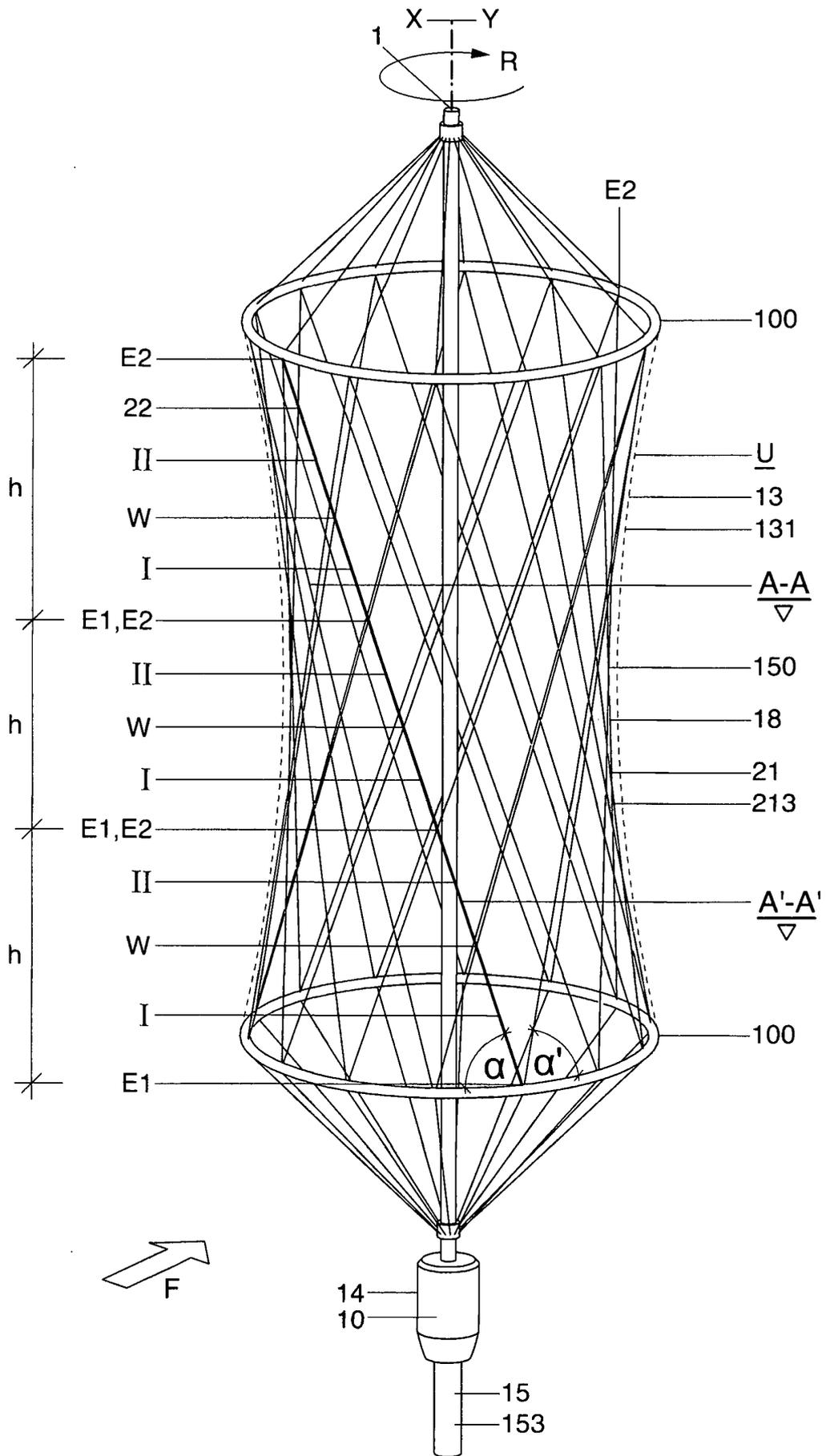


Fig.8

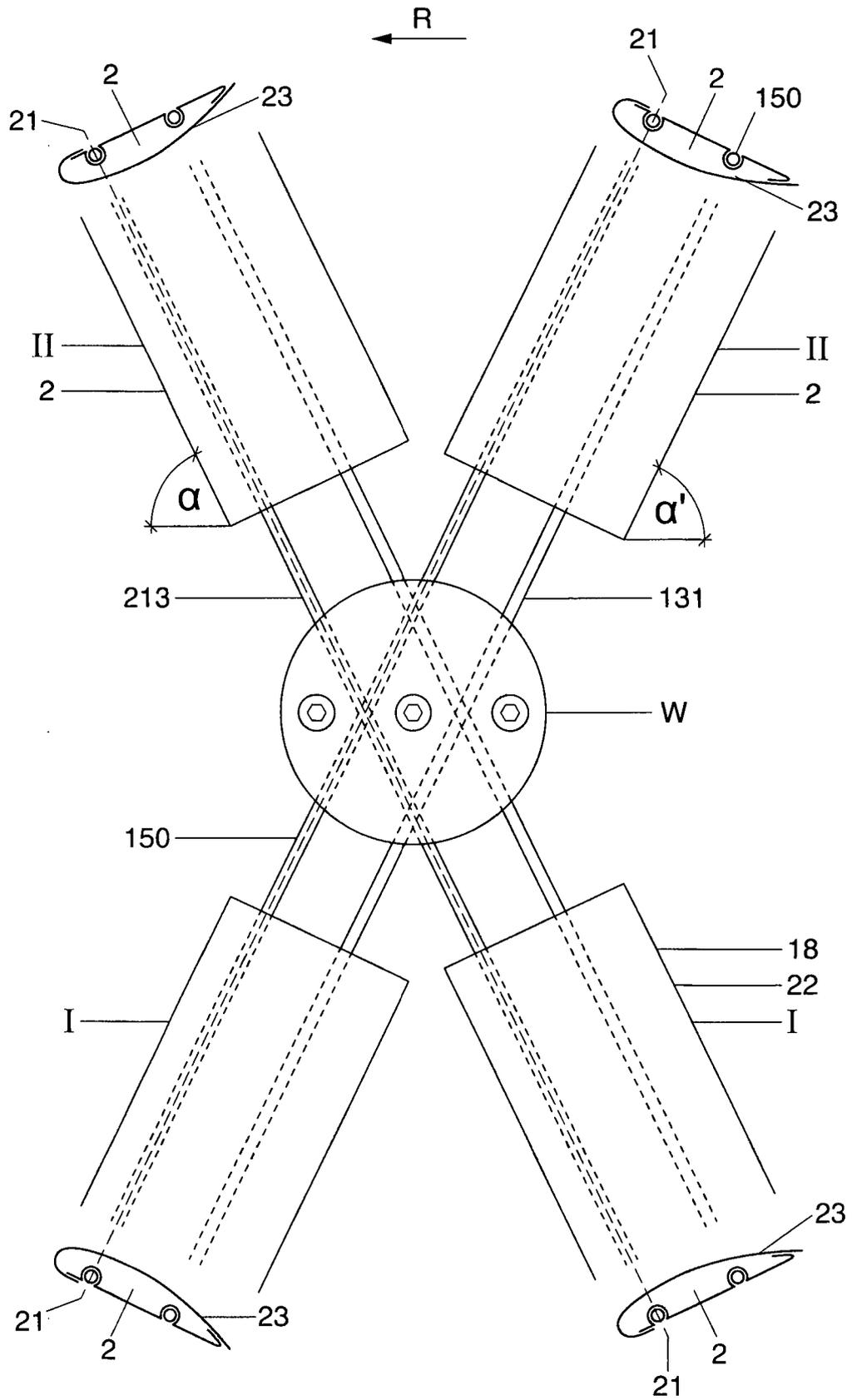


Fig.9

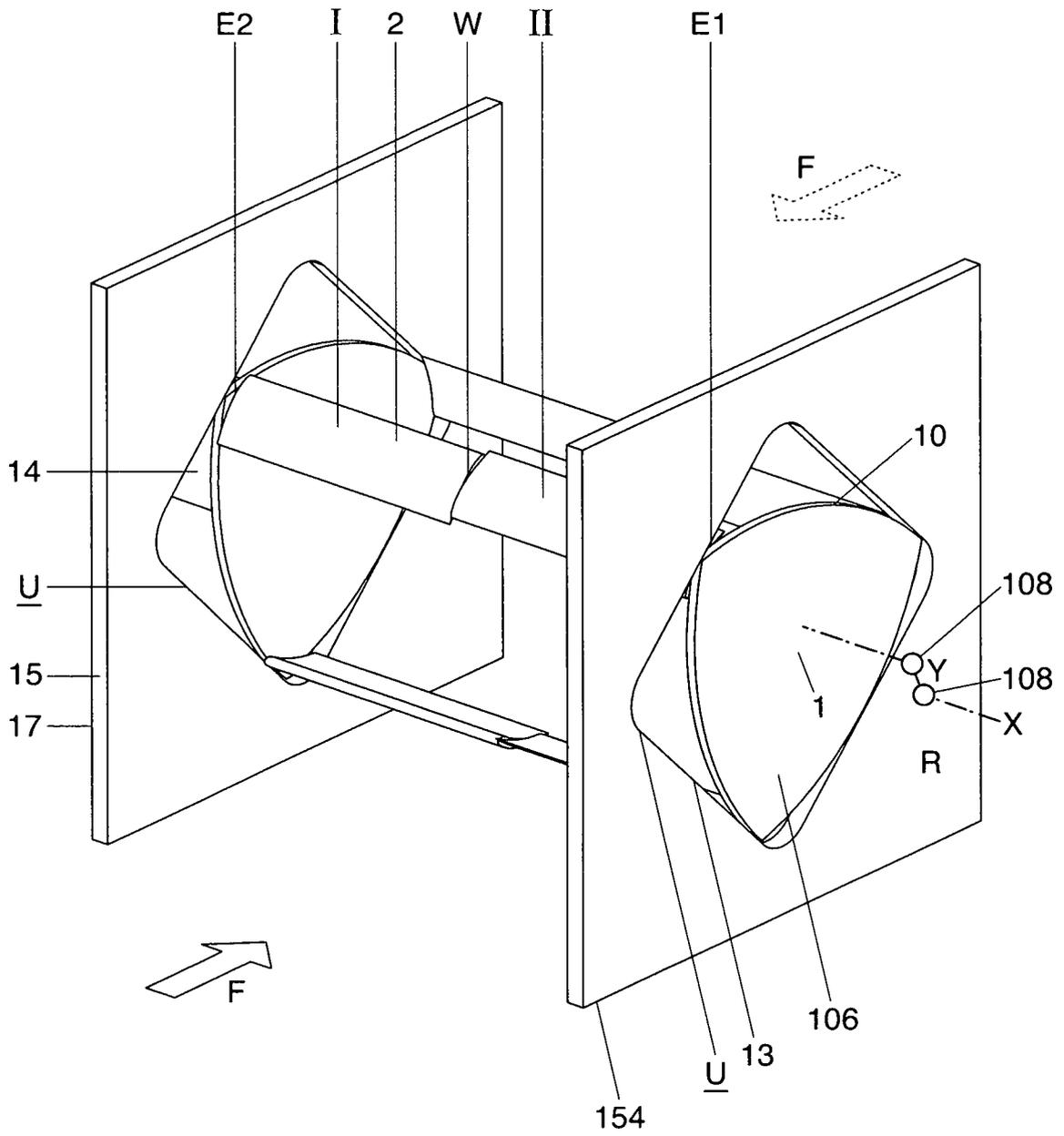


Fig.10

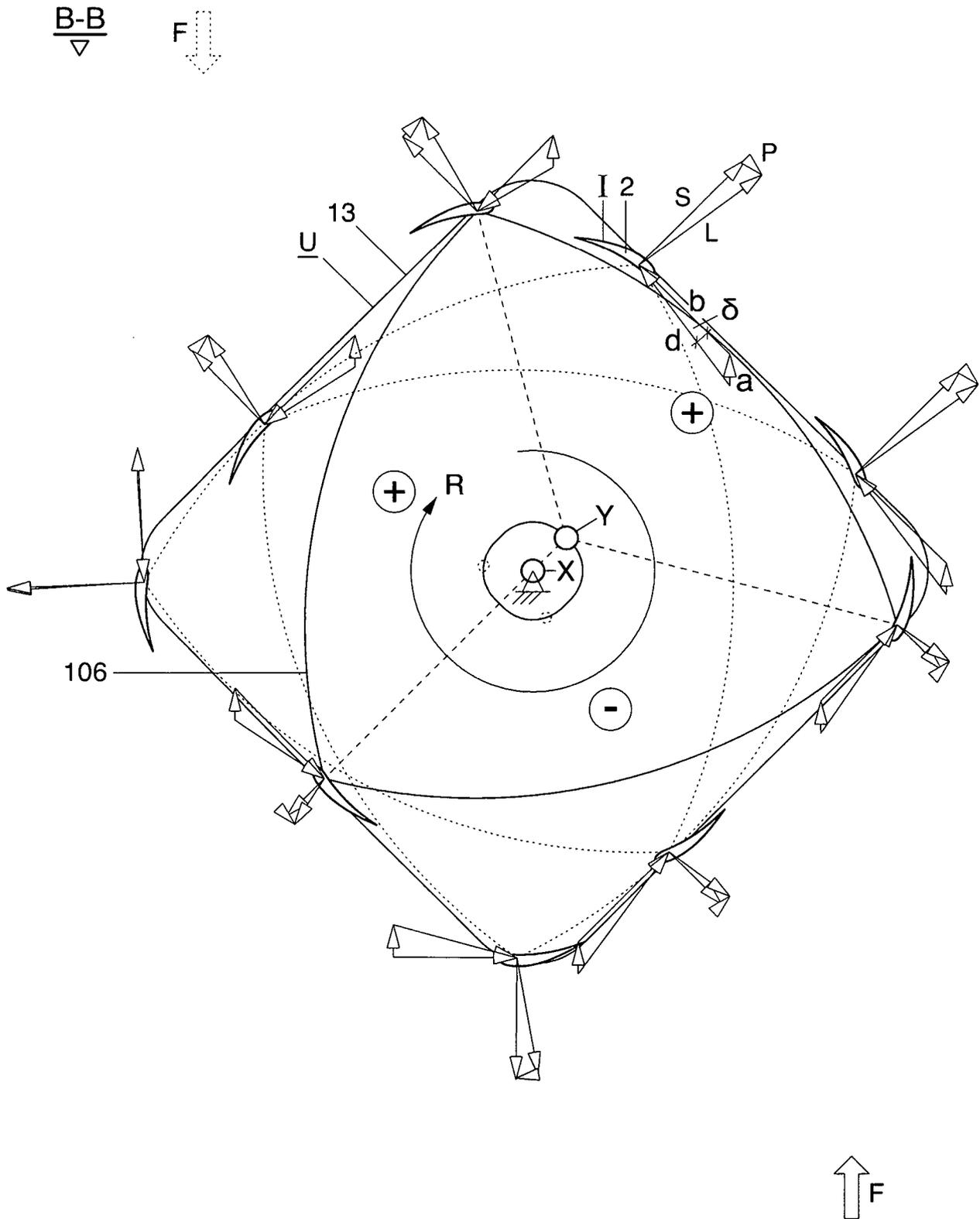


Fig.11

$\frac{B'-B'}{\Delta}$

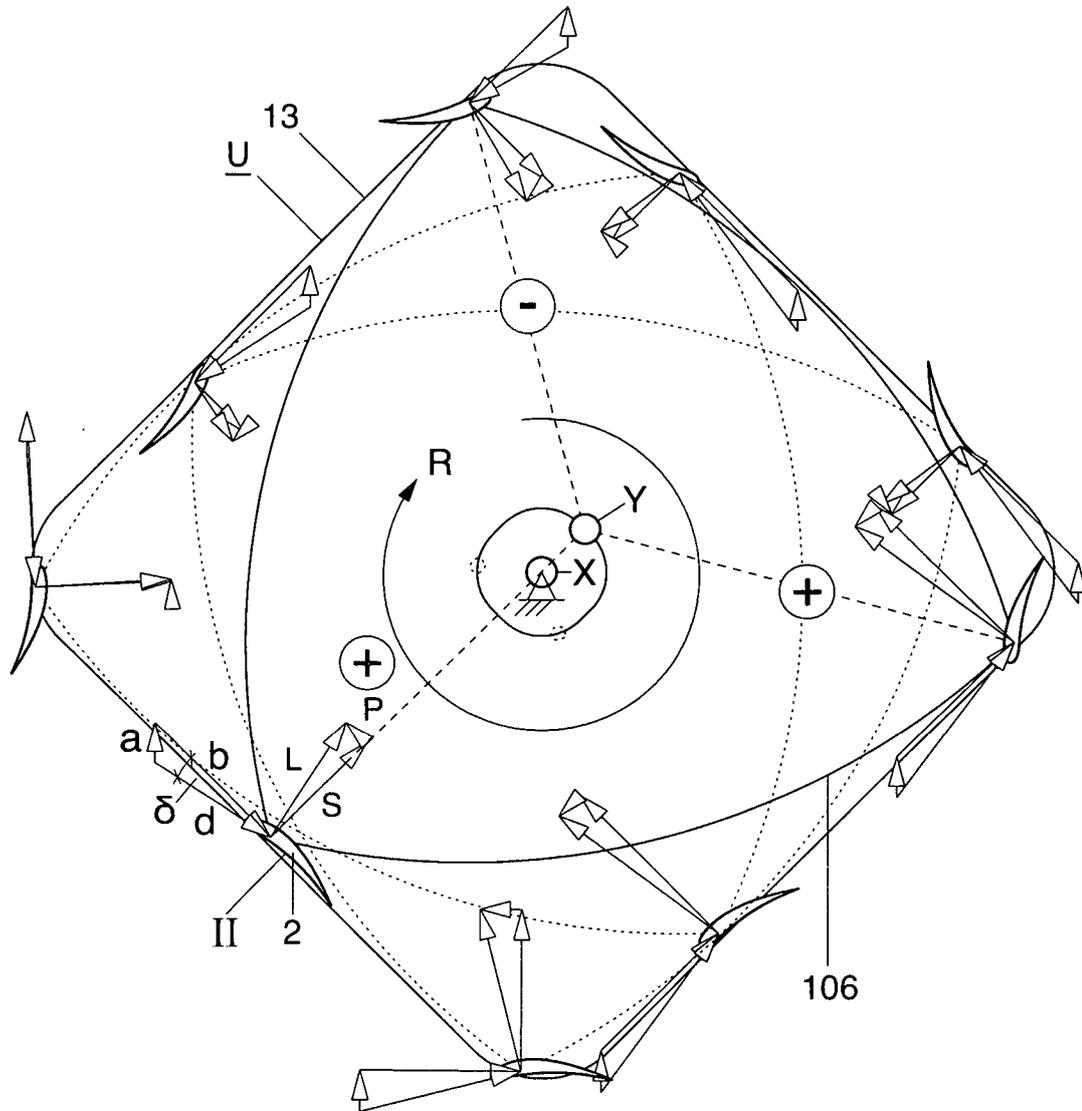


Fig.12

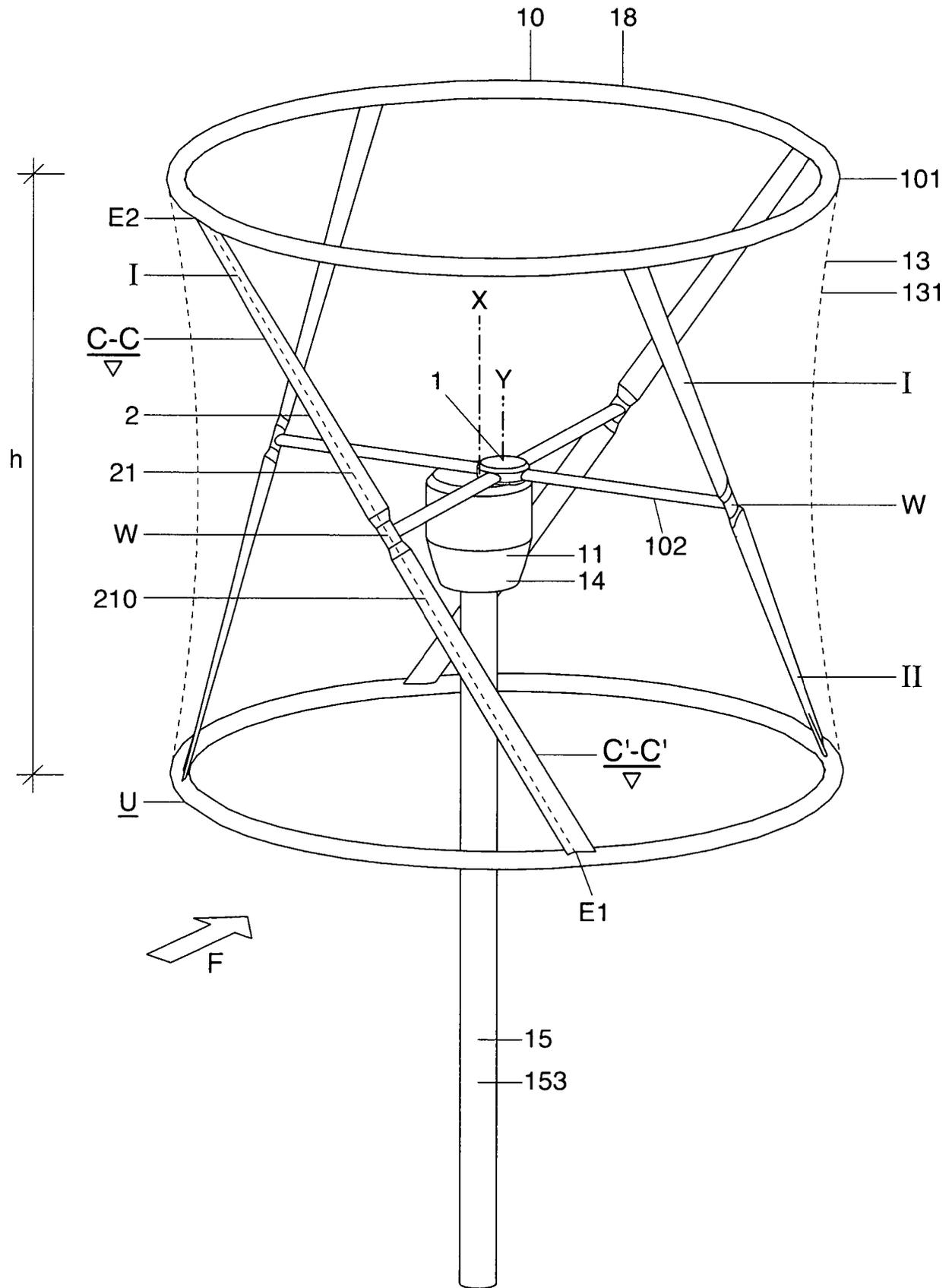


Fig.13

C-C  
▽

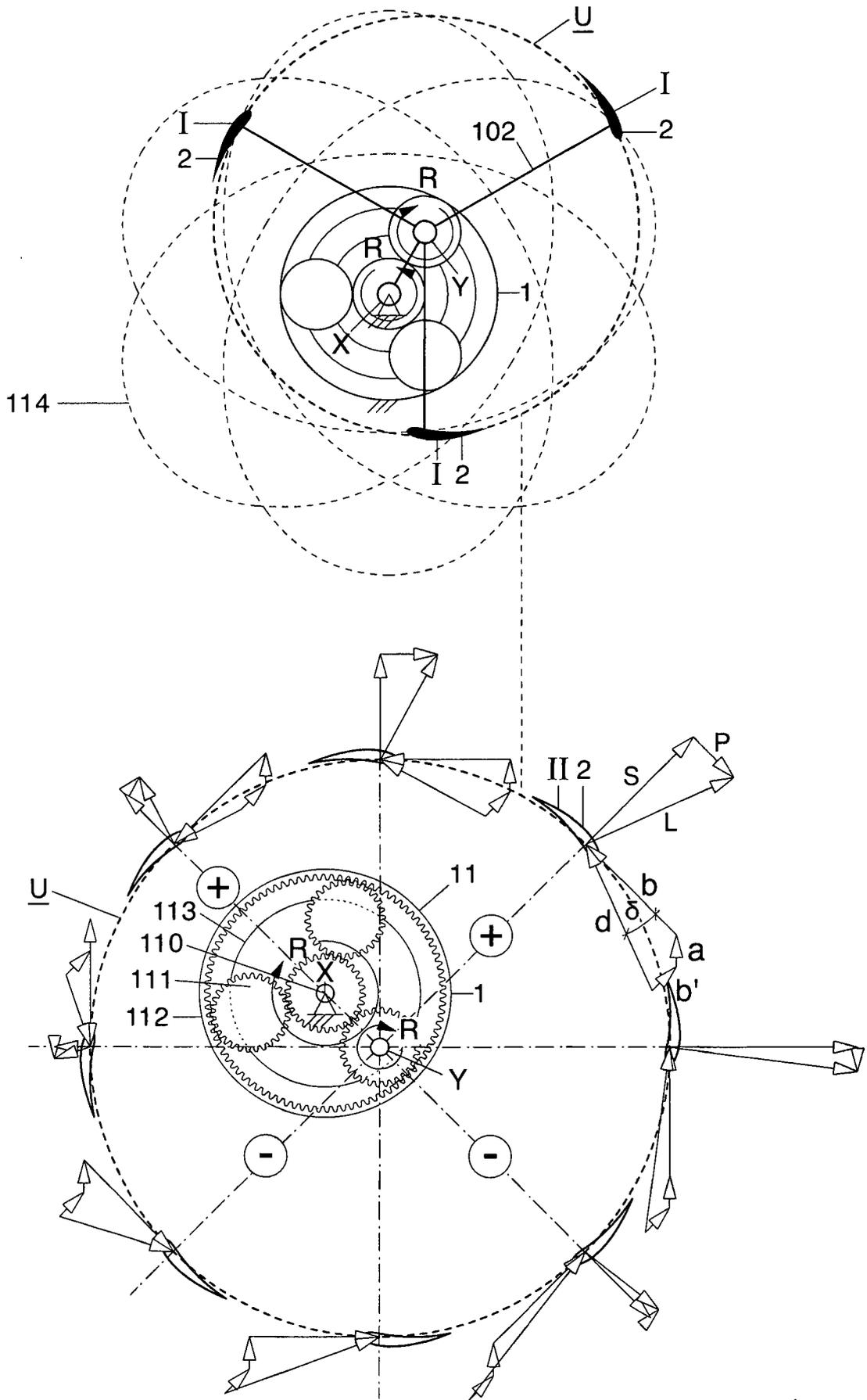


Fig.14

$\frac{C'-C'}{\nabla}$

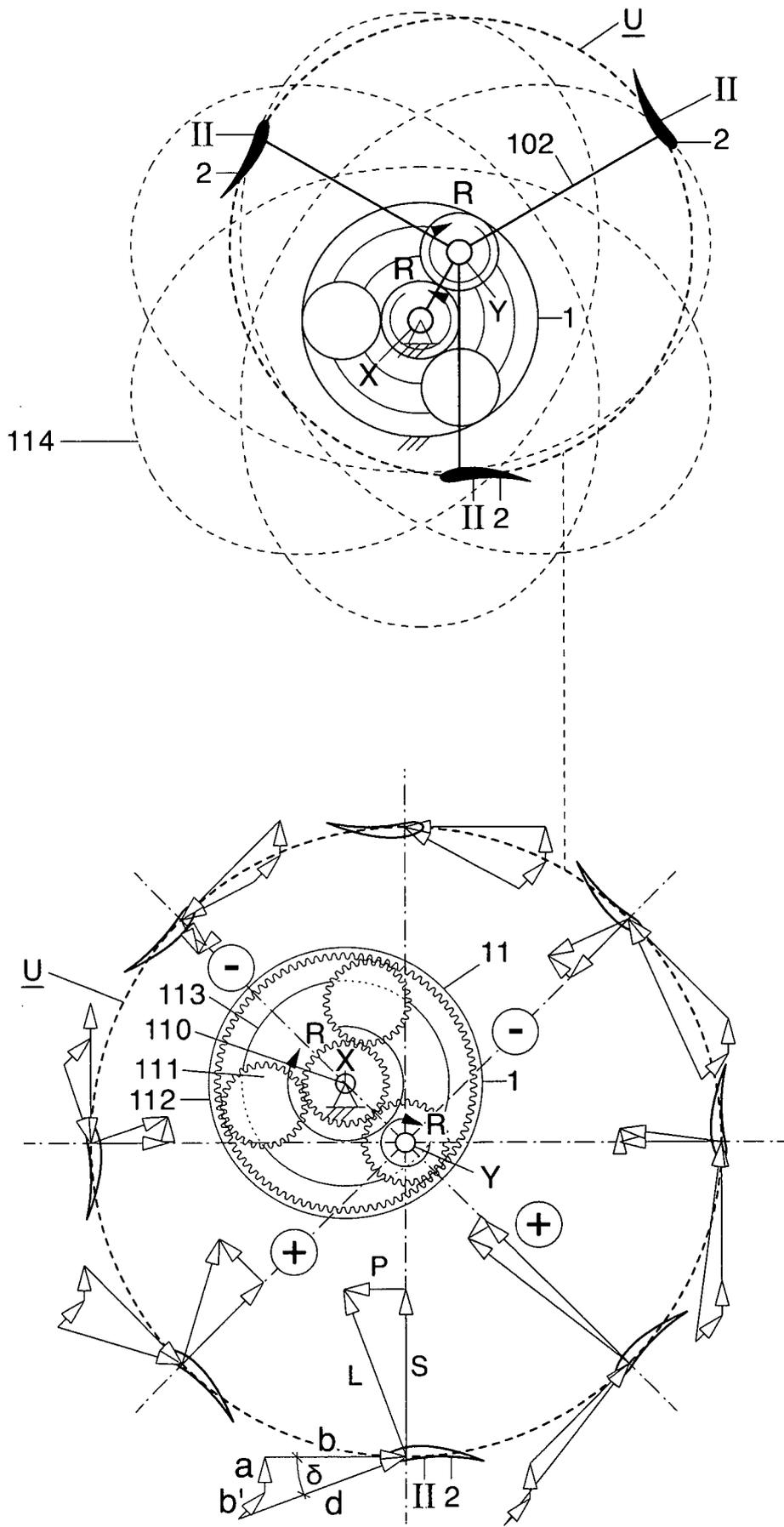
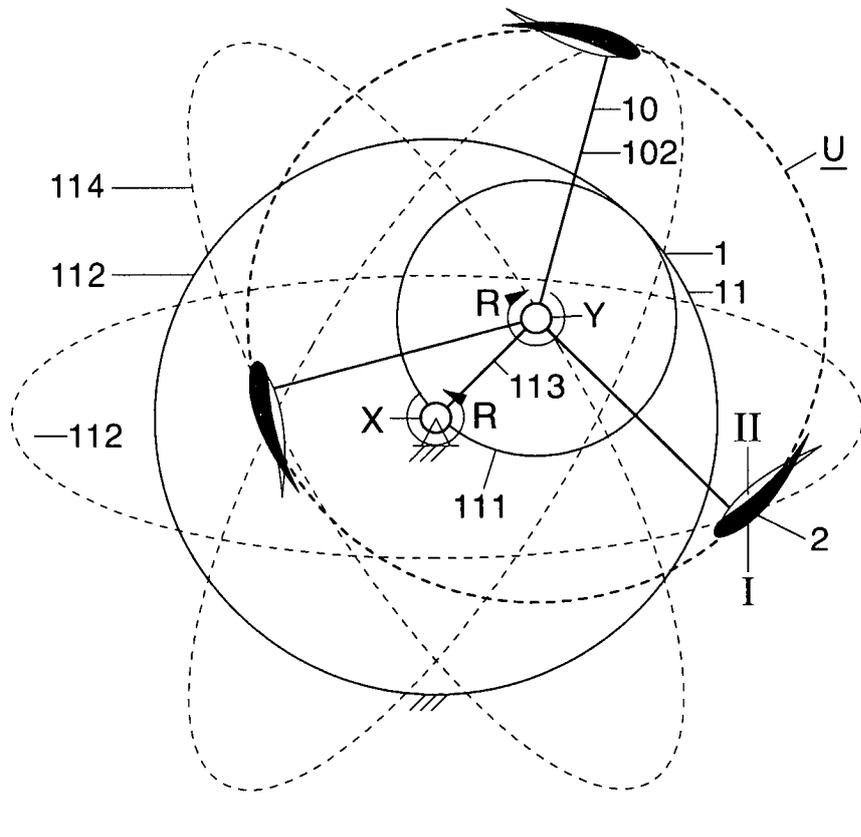
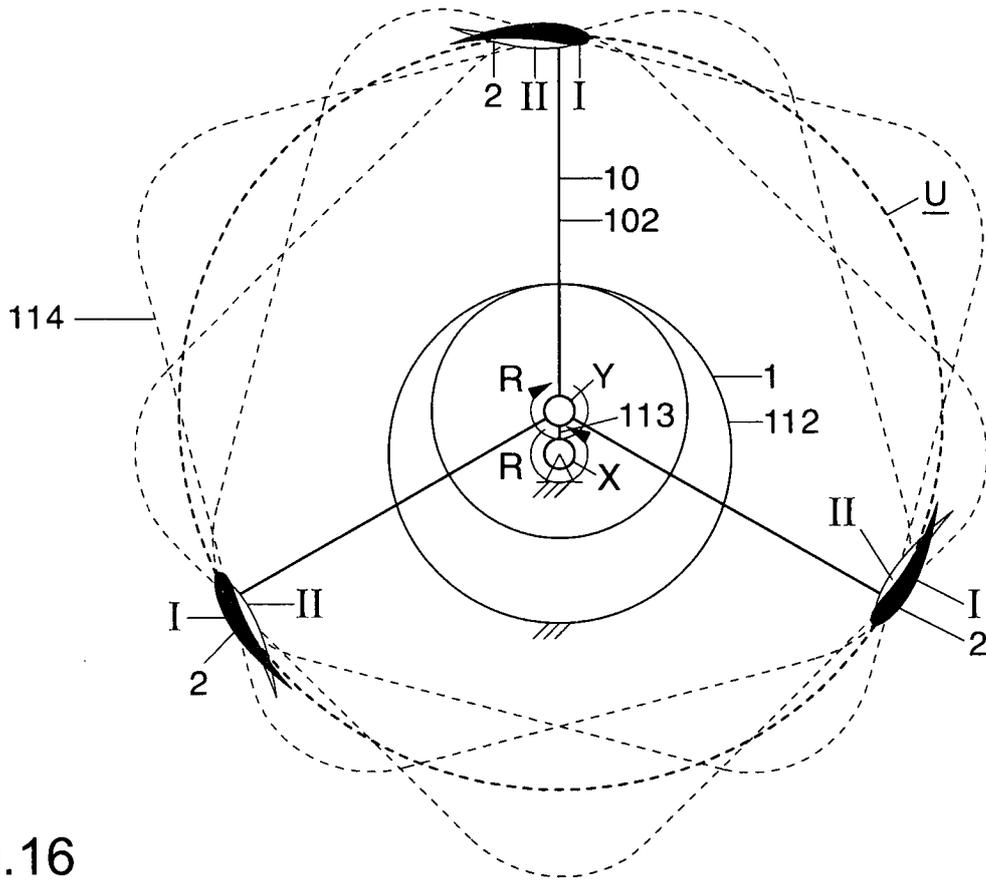


Fig.15.



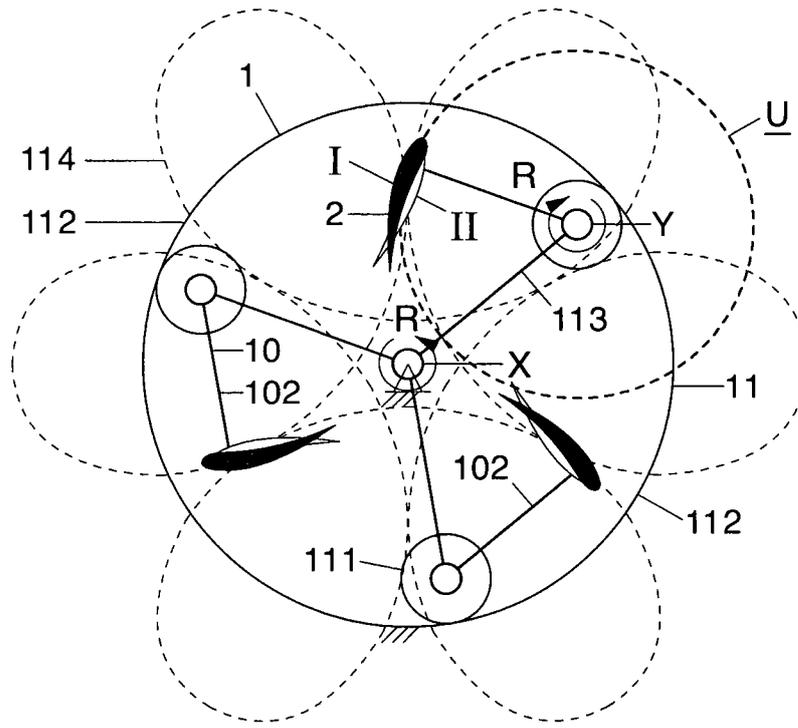


Fig. 18

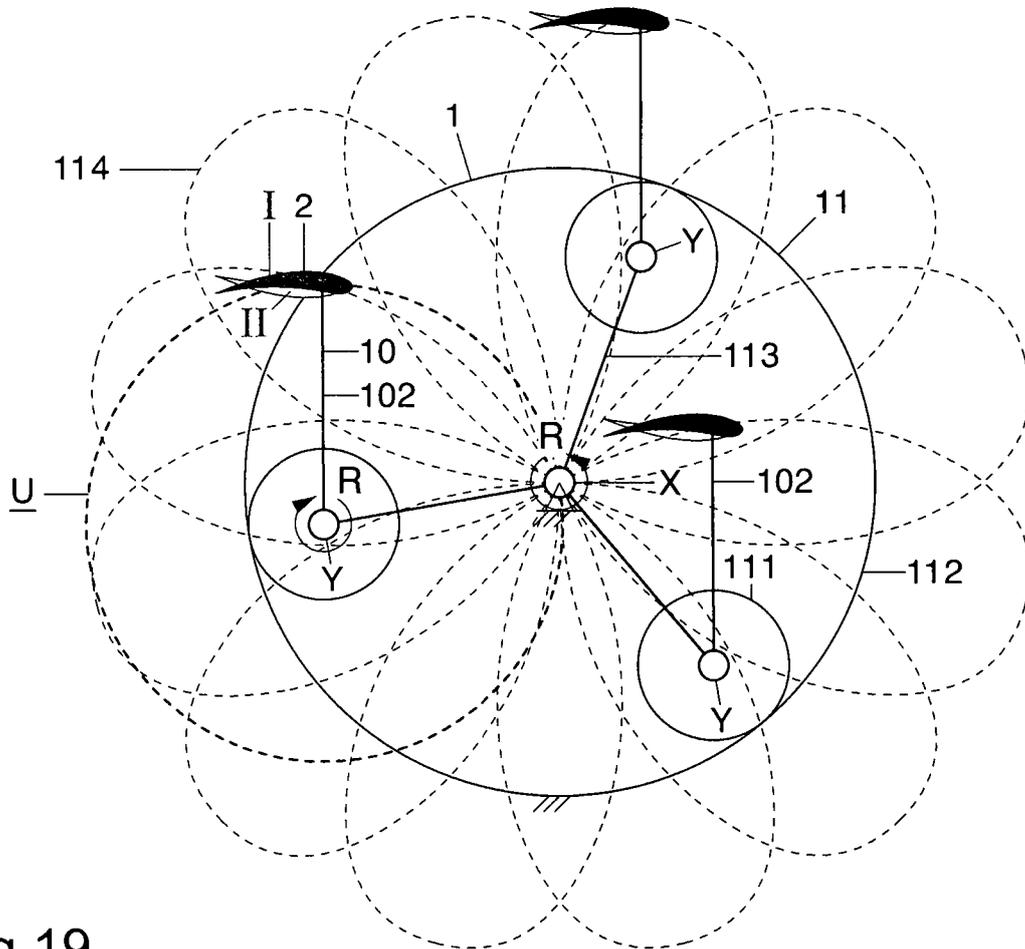


Fig. 19

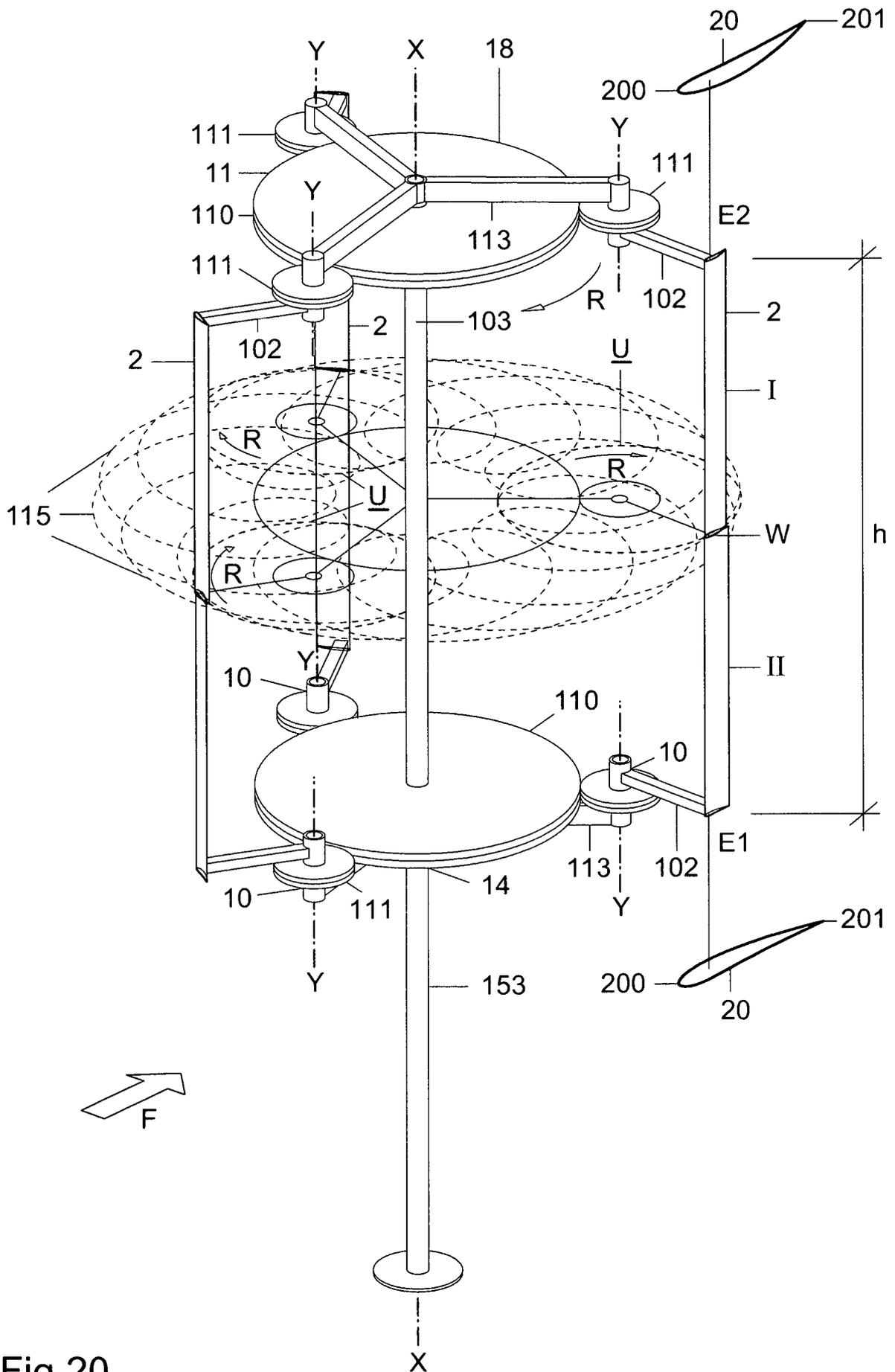


Fig.20



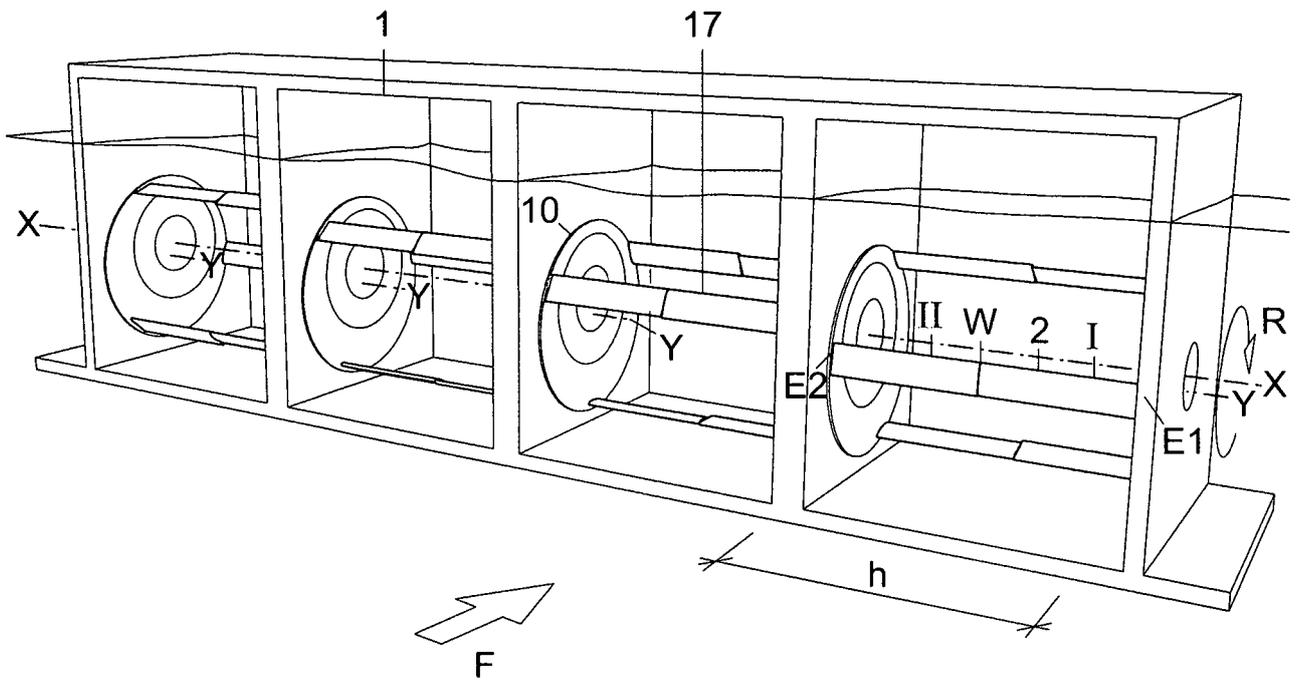


Fig. 22

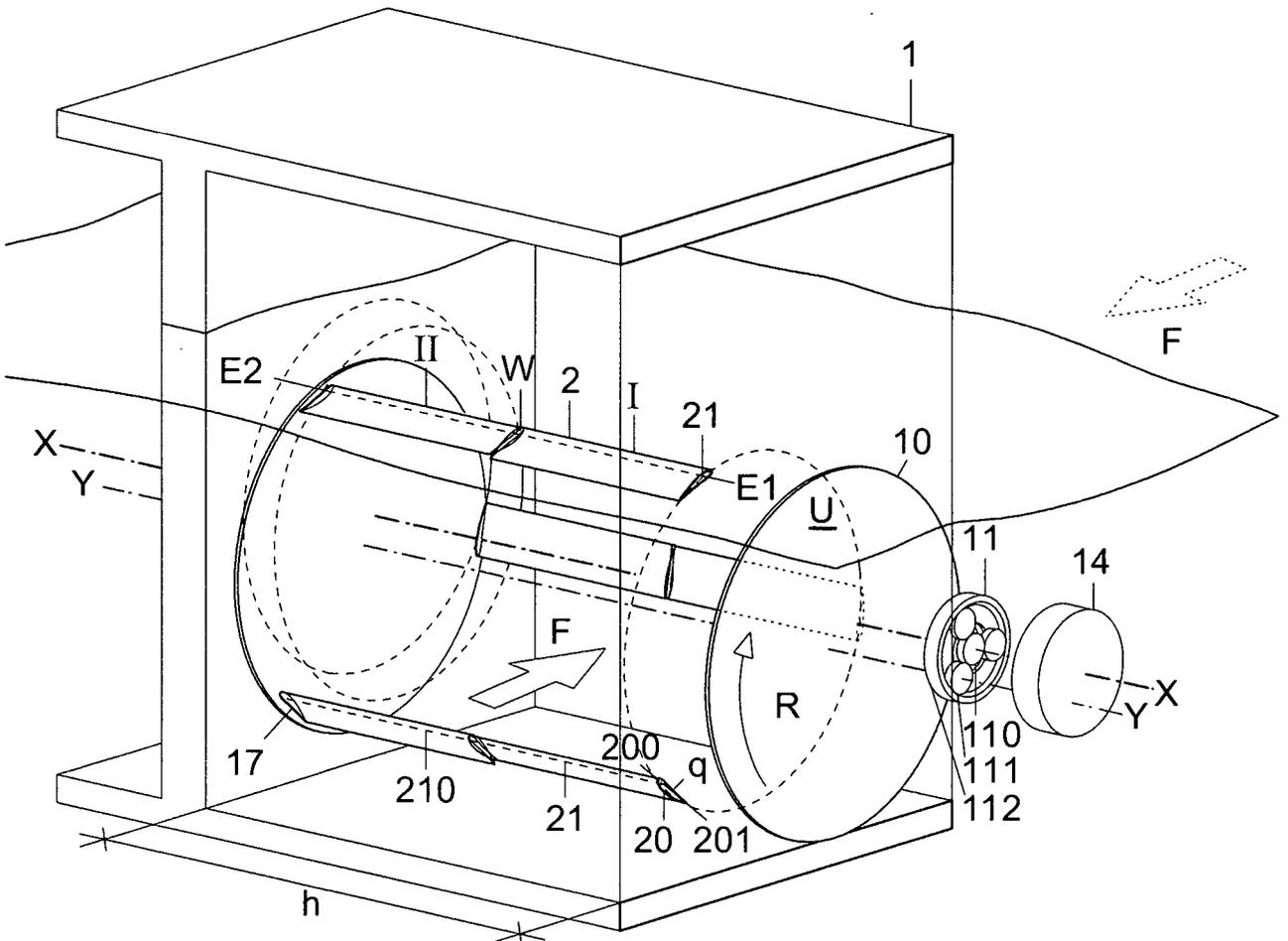
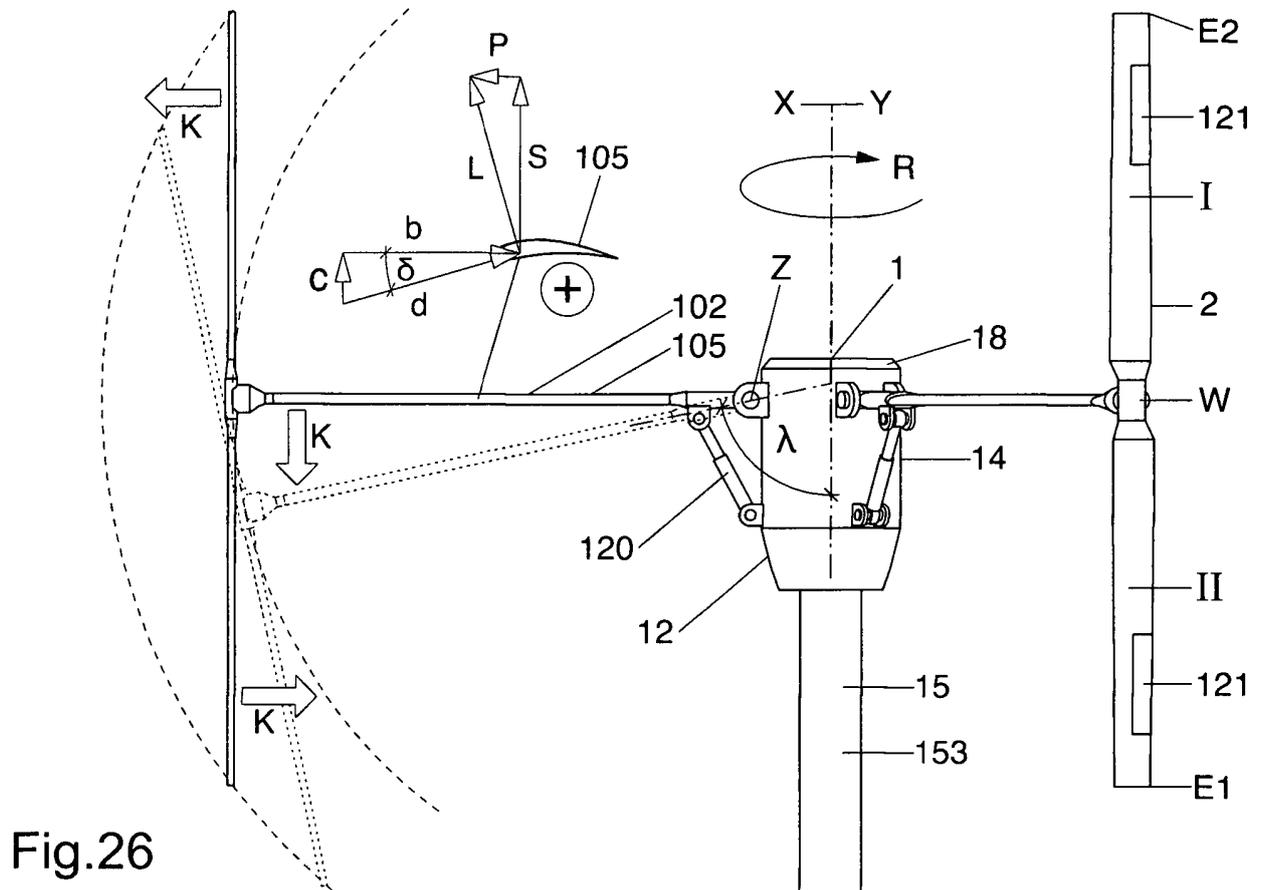
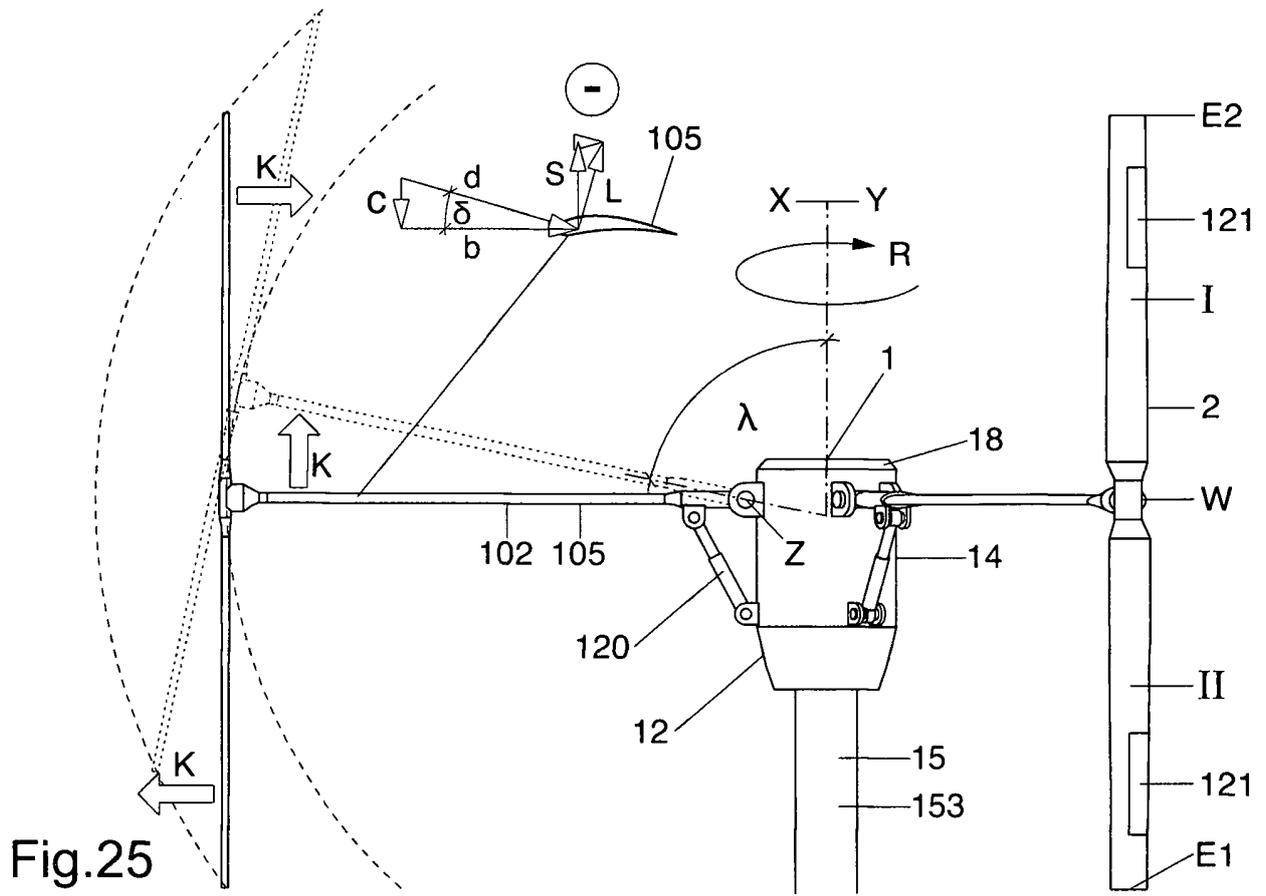


Fig. 23





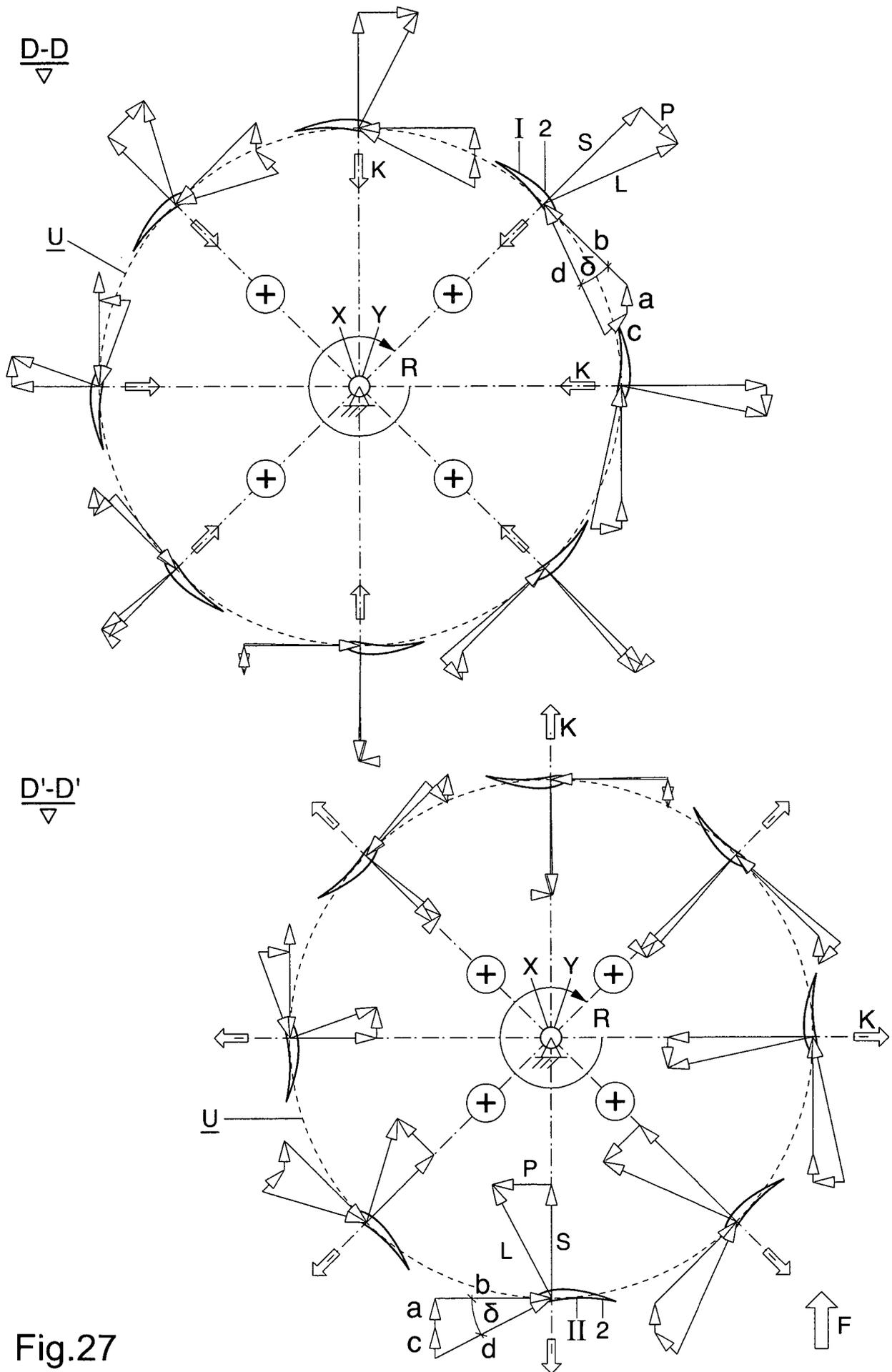


Fig.27

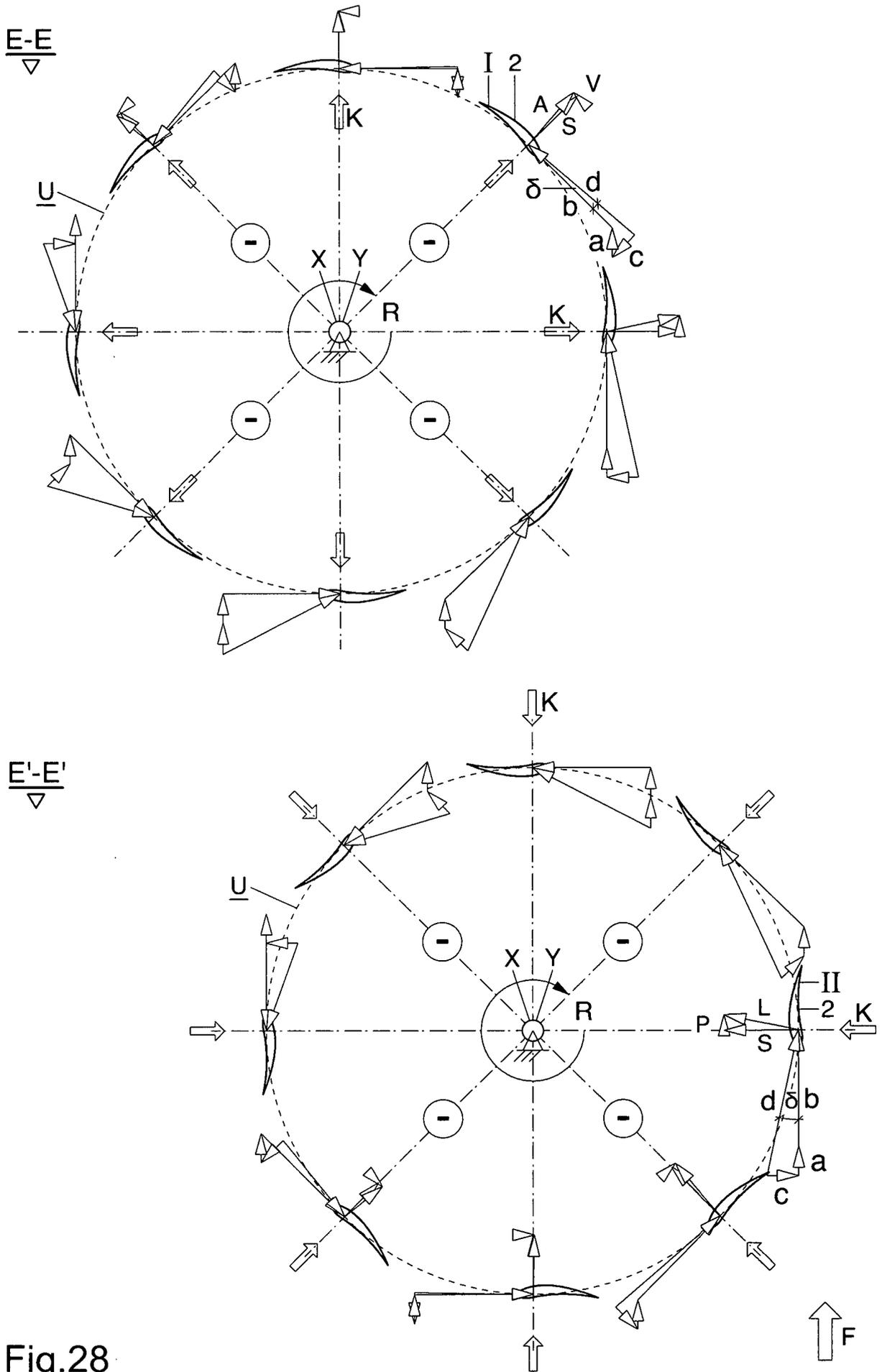


Fig.28

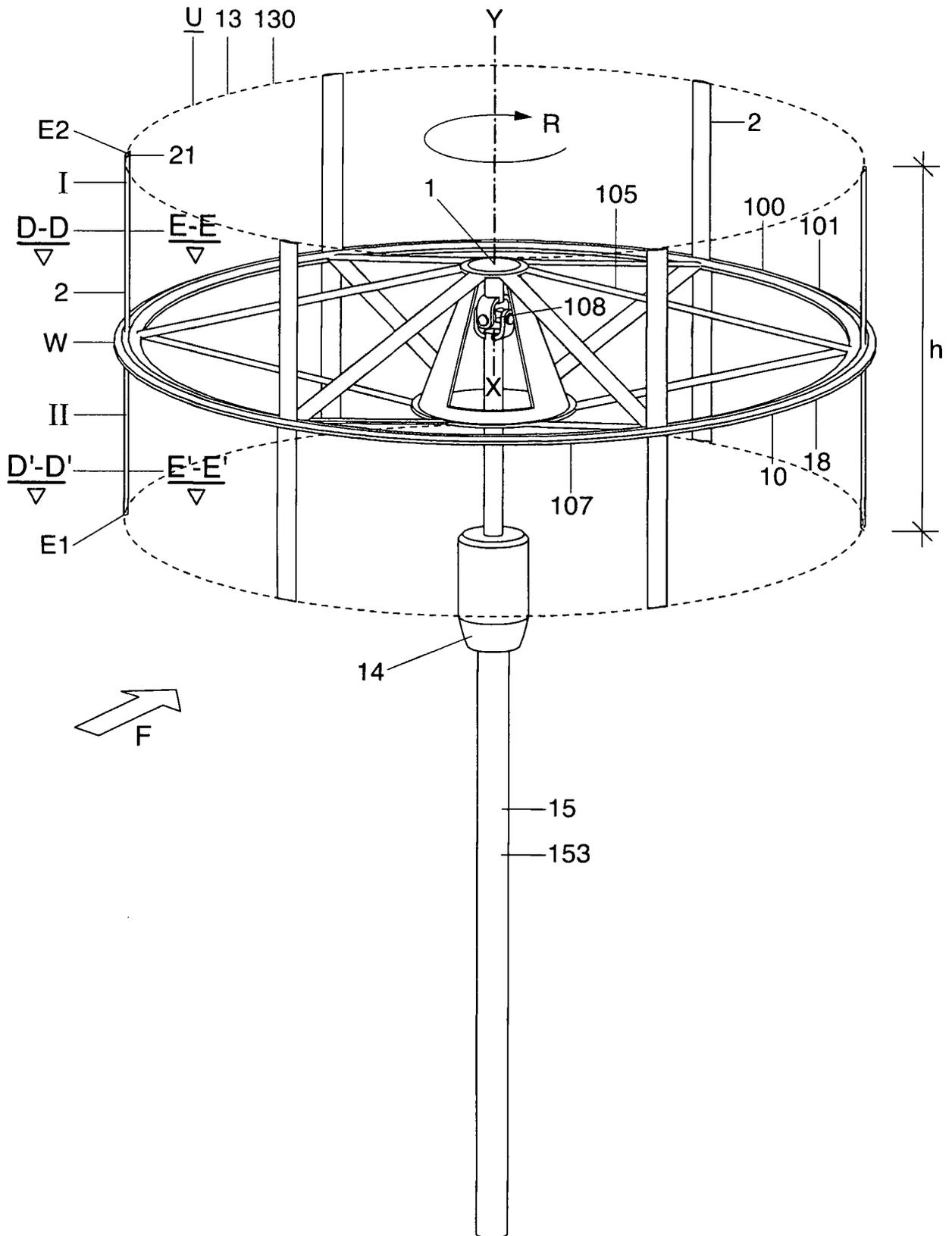


Fig.29

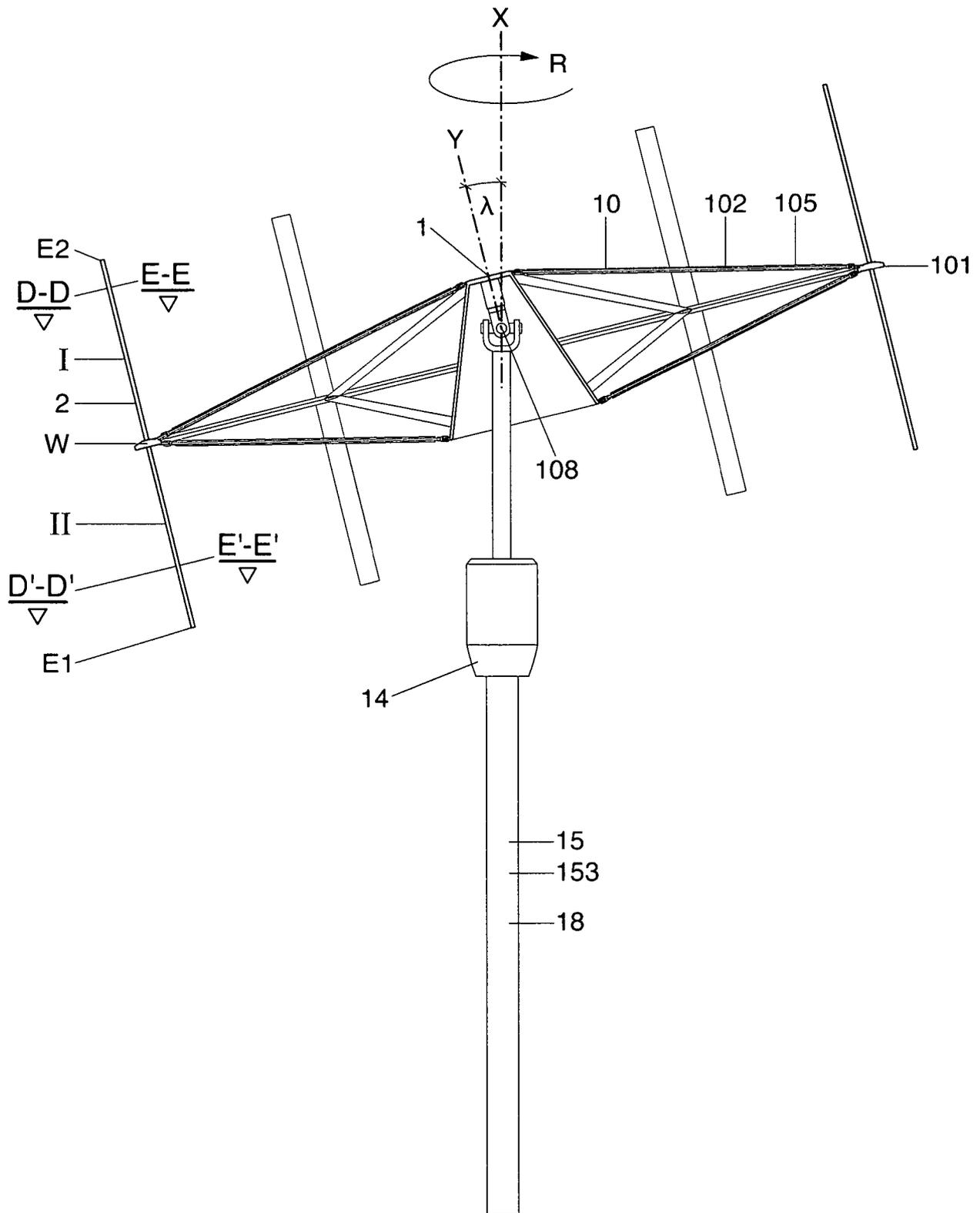


Fig.30

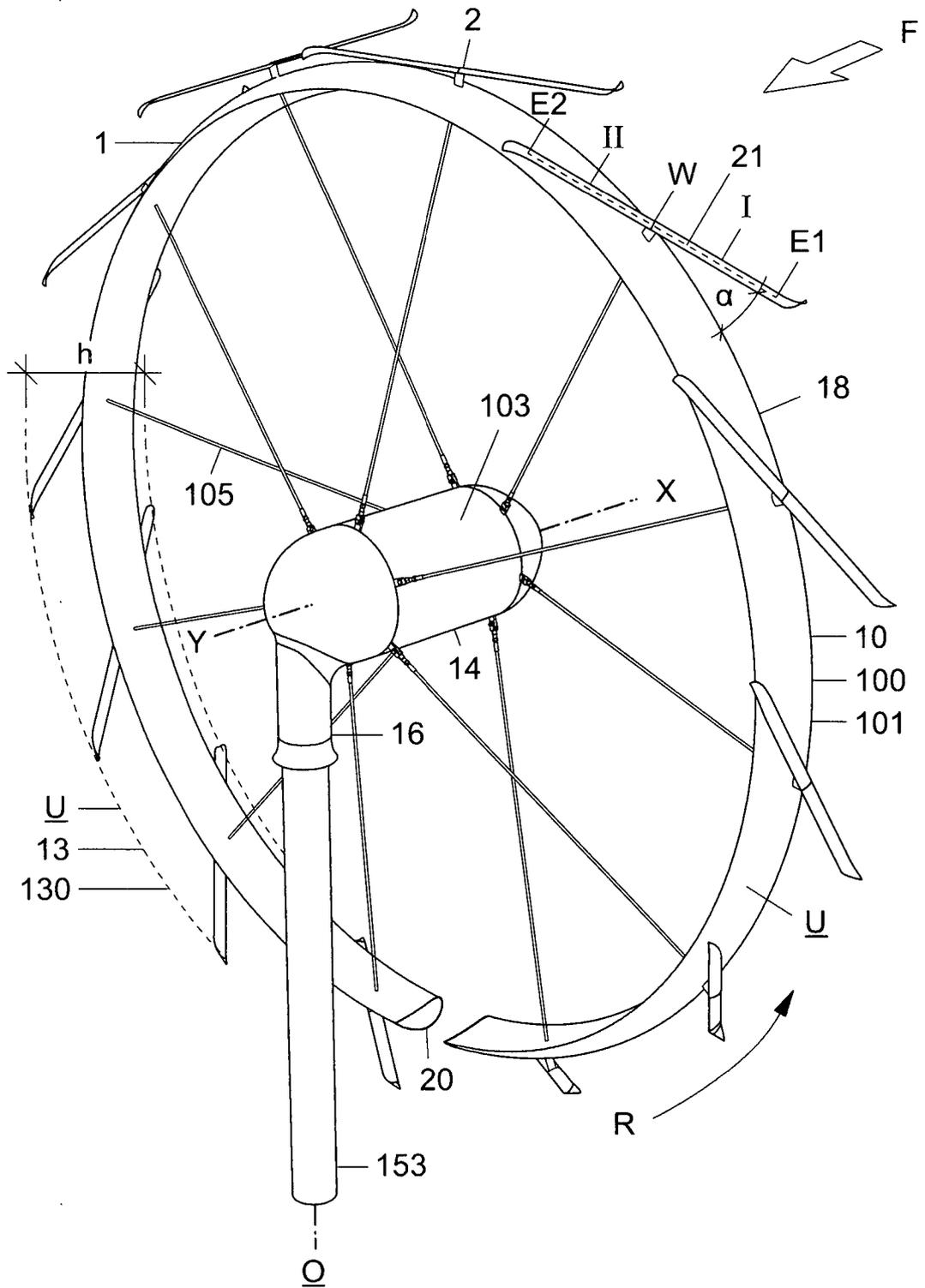


Fig.31

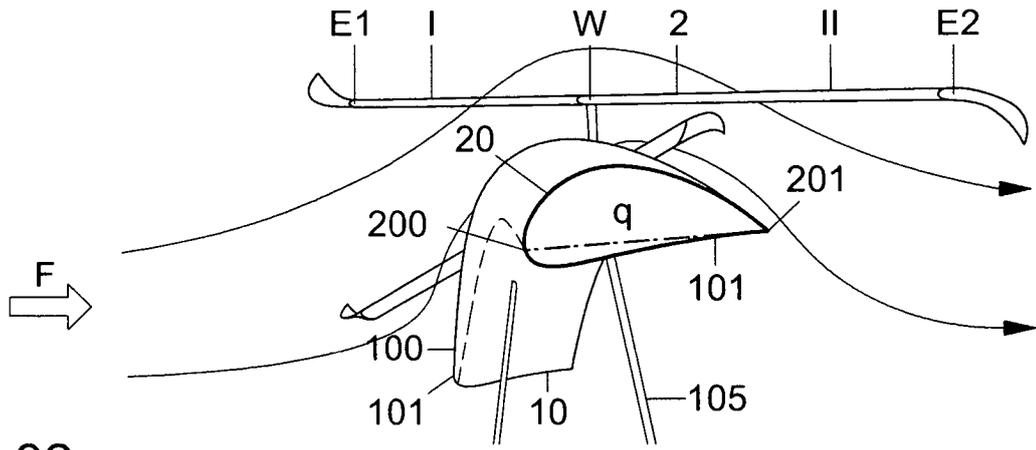


Fig.32

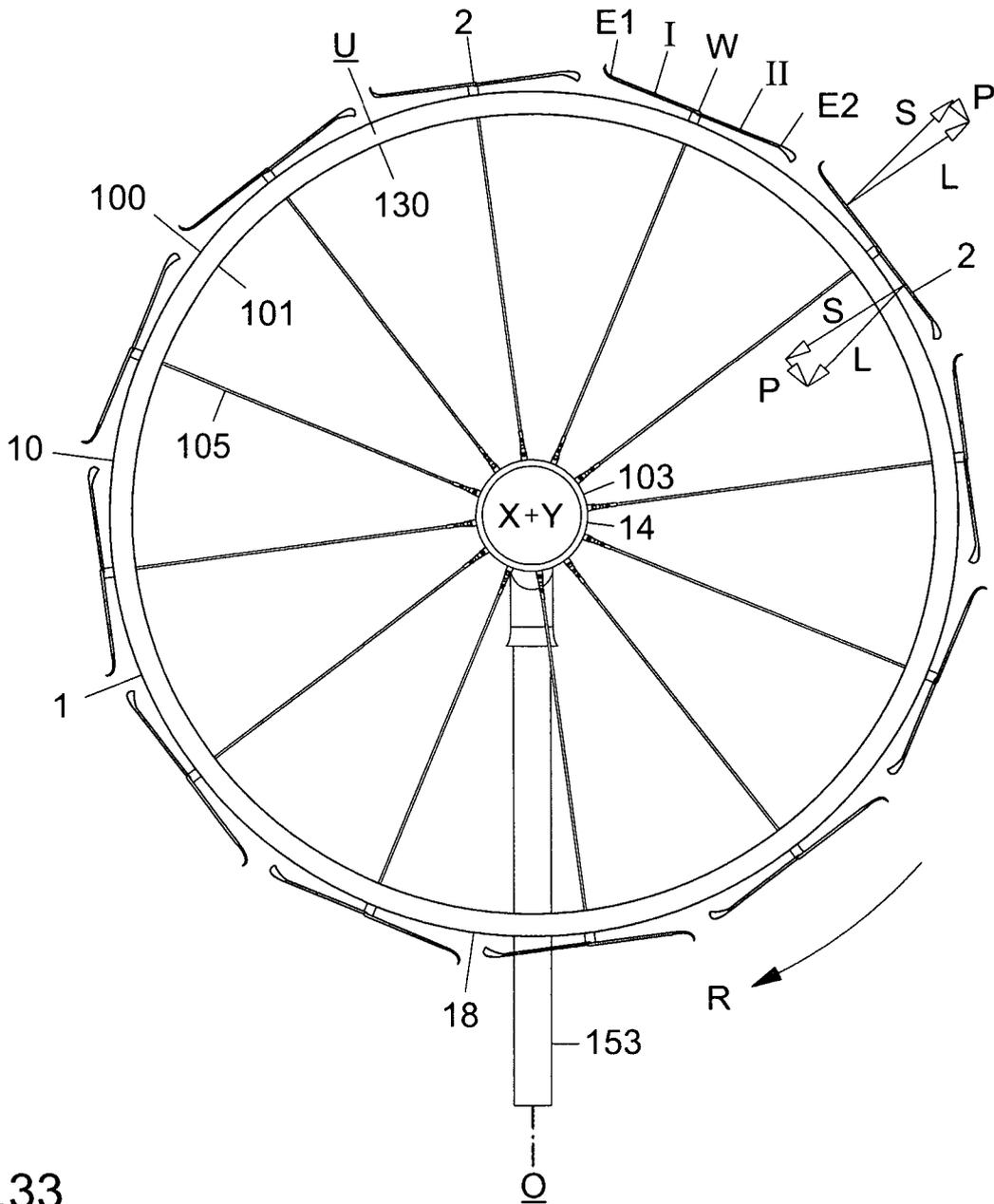


Fig.33

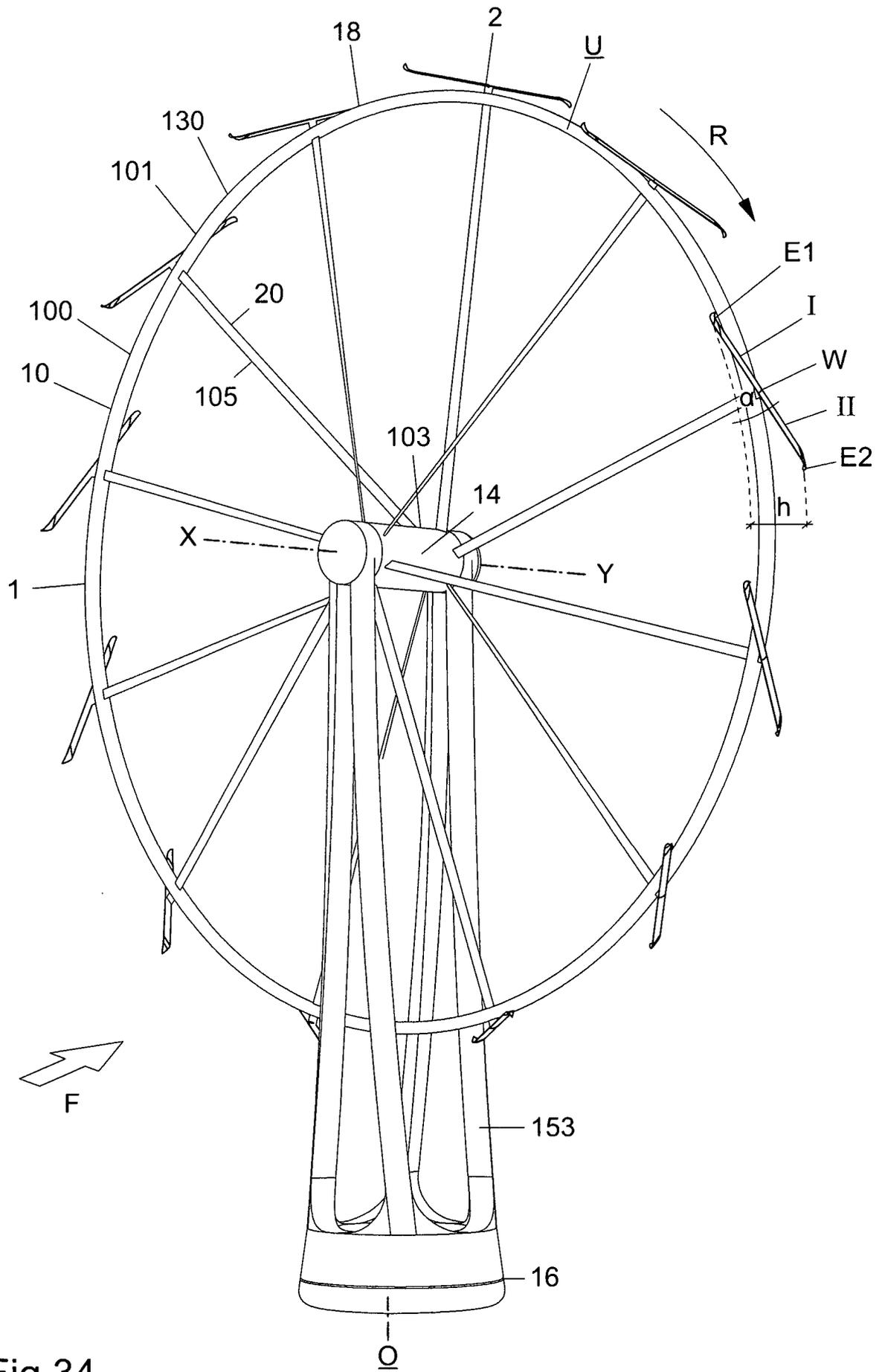


Fig.34

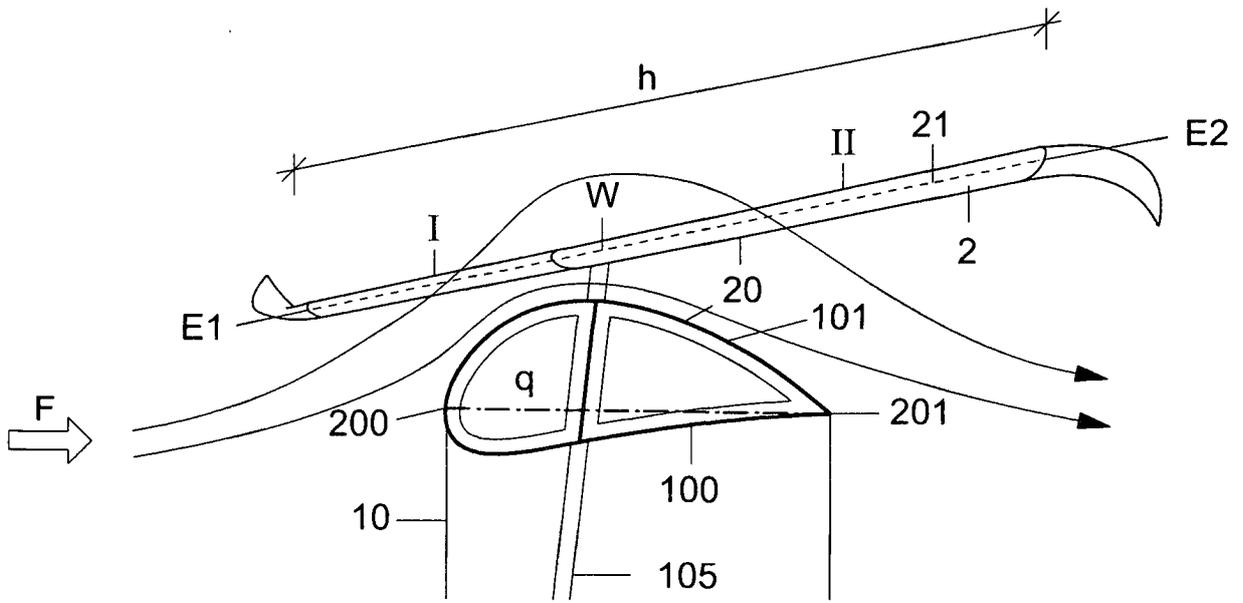


Fig.35

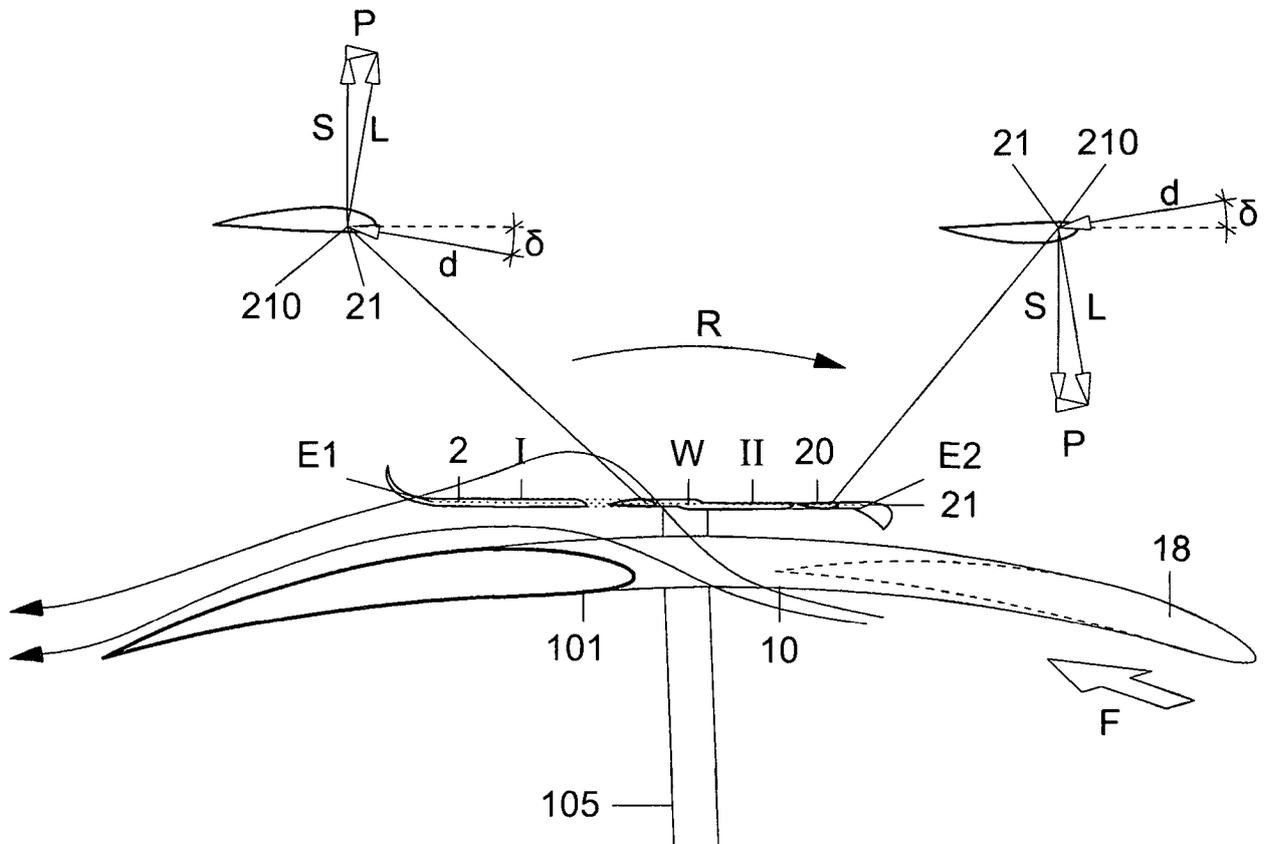


Fig.36

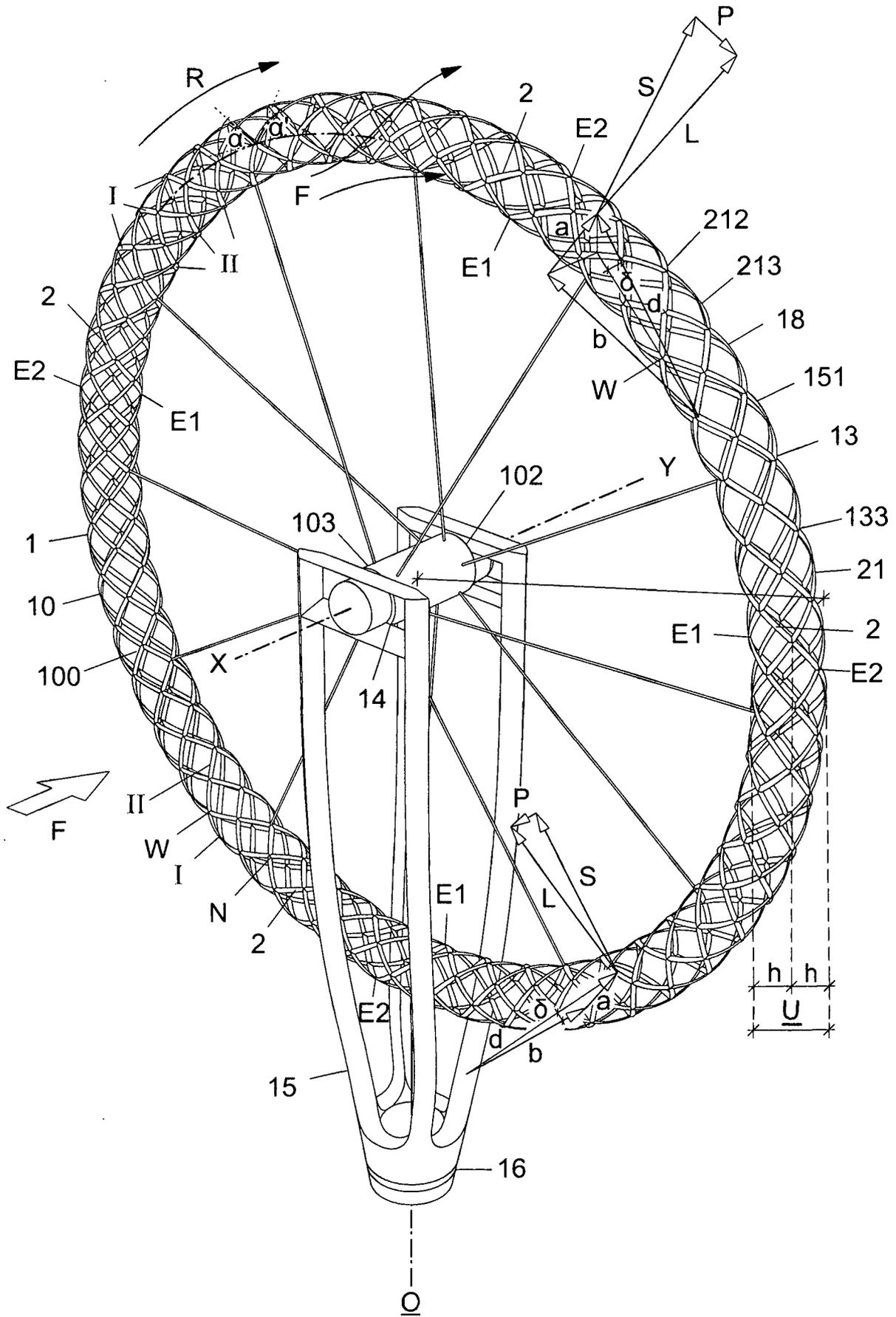


Fig.37

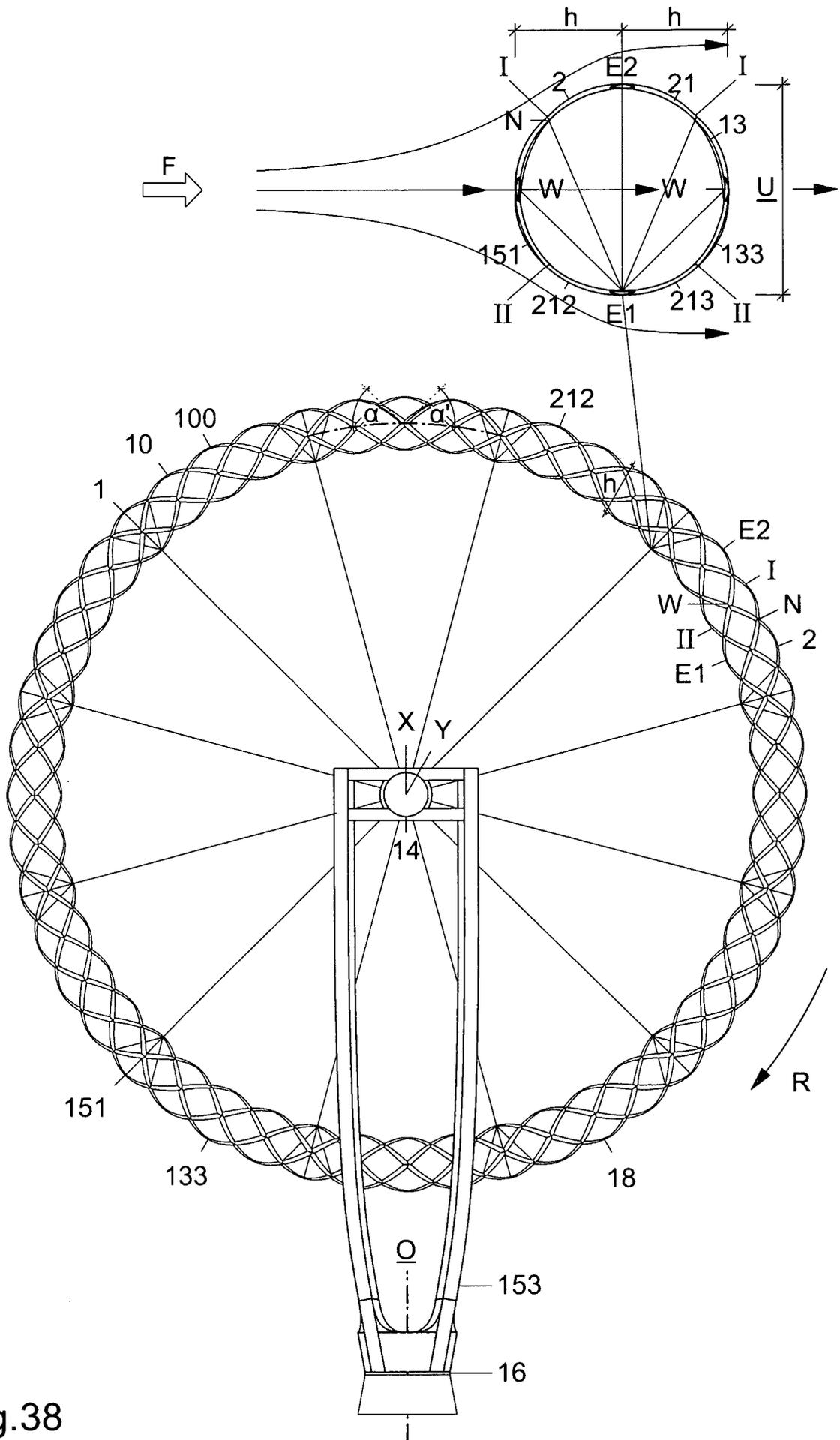
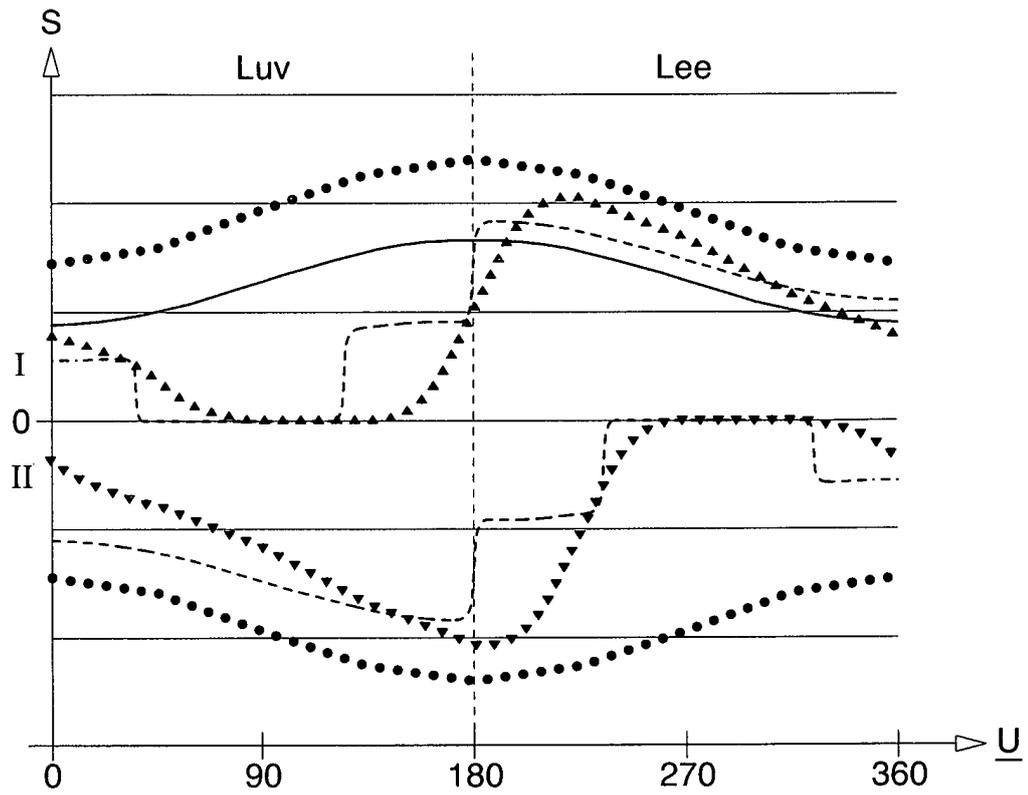
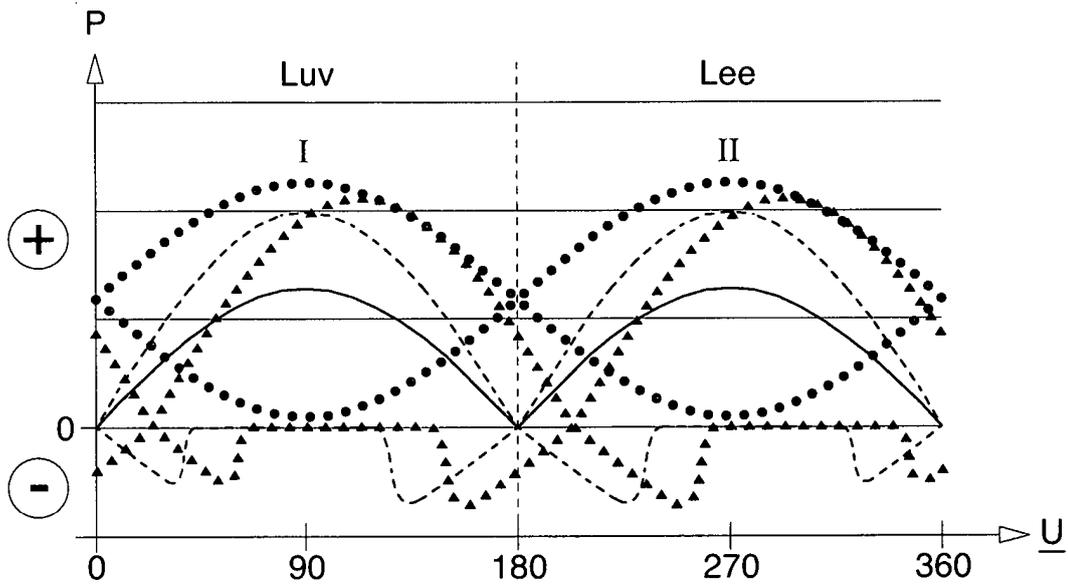


Fig.38



— Stand der Technik      ▲▲▲▲▲▲▲▲ Fig.13 bis Fig.23  
 - - - - - Fig.1 bis Fig.12      ●●●●●●●● Fig.24 bis Fig.30

Fig.39



— Stand der Technik      ▲▲▲▲▲▲▲▲ Fig.13 bis Fig.23  
 - - - - - Fig.1 bis Fig.12      ●●●●●●●● Fig.24 bis Fig.30

Fig.40

