

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **715 604 B1**

(51) Int. Cl.: **B63B 35/44** (2006.01)
F03D 13/25 (2016.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 00461/20

(22) Anmeldedatum: 11.12.2018

(43) Anmeldung veröffentlicht: 20.06.2019

(30) Priorität: 15.12.2017
CN 201711347497.4
15.12.2017
CN 201711348398.8
15.12.2017
CN 201711347246.6

(24) Patent erteilt: 30.06.2021

(45) Patentschrift veröffentlicht: 30.06.2021

(73) Inhaber:
Shanghai Maritime University, No. 1550, Haigang Ave,
Pudong District
201306 Shanghai (CN)
ZHEJIANG SOUTHEAST SPACE FRAME CO., LTD.,
Yaqian Town, Xiaoshan District, Hangzhou
311209 Zhejiang (CN)

(72) Erfinder:
Jiamin Guo, 201306 Shanghai (CN)
Guangen Zhou, 201306 Shanghai (CN)
Jiongliang Wu, 201306 Shanghai (CN)
Ning Chen, 201306 Shanghai (CN)
Haodong Zhong, 201306 Shanghai (CN)
Zhixin Xiong, 201306 Shanghai (CN)
Gongxing Wu, 201306 Shanghai (CN)
Xianrui Hou, 201306 Shanghai (CN)
Yu Sun, 201306 Shanghai (CN)
Guangzhong Liu, 201306 Shanghai (CN)

(74) Vertreter:
Isler & Pedrazzini AG, Postfach 1772
8027 Zürich (CH)

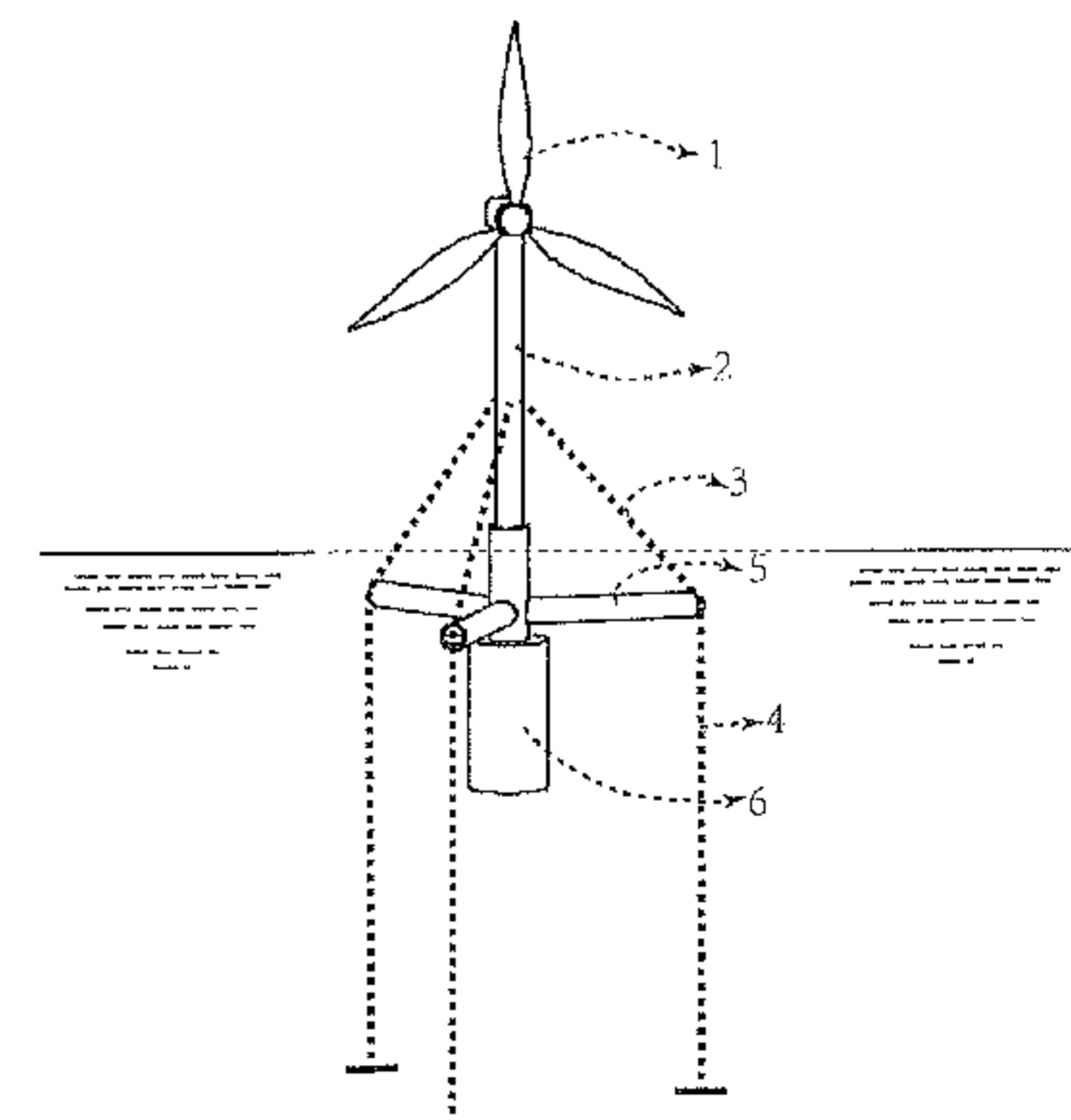
(86) Internationale Anmeldung:
PCT/CN 2018/120262

(87) Internationale Veröffentlichung:
WO 2019/114691

(54) **Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage.**

(57) Bei dem erfindungsgemäßen Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage erfolgen durch Ballastieren der Spar-Boje (6) eine Aufrichtung der Struktur und eine Einstellung des Schwerpunkts, womit die Kraftaufnahme-Eigenschaft optimiert wird und die Auftriebsfähigkeit, die Stabilität sowie die Ausfallbeständigkeit erhöht werden. Indem ein Verstärkungsseil (3) vorgesehen ist, sind somit der Auftriebszylinder (5), der Turm (2) und das Spannkabel (4) zu einem Gesamtsystem zur koordinierten Kraftaufnahme verbunden, womit die vertikale Zugkraft des vertikal angeordneten Spannkabels (4) ausgeglichen, das Biegemoment des Auftriebszylinders (5) verringert und die Betriebseffizienz des Auftriebszylinders (5) und des Turms (2) erhöht wird. Alternativ dazu können bei der vorliegenden Erfindung unter Verwendung eines kettenlinienartigen Spannkabels (41) die Verschiebung und die Drehung der Struktur beschränkt werden. Mittels der horizontalen und der vertikalen Kraftkomponenten, die durch die Kettenlinie bereitgestellt werden, werden der Spitzenwert der inneren Kraft des Spannkabels (4) während des Einsatzes einer Windkraftanlage (1) und somit auch die Bruchwahrscheinlichkeit des Spannkabels (4) verringert. Erfindungsgemäß kann ferner mittels einer umgekehrt im Wasser angeordneten vertikalen Dämpfungserhöhungseinrichtung (10) die vertikale Dämpfung der Struktur erhöht werden. Des Weiteren werden die Stabilität der Struktur und die Bruchbeständigkeit des Spannkabels (4) durch die Anwendung der Spar-Boje (6), der

vertikalen Dämpfungserhöhungseinrichtung (10) und des kettenlinienartigen Spannkabels (41) erhöht und zudem werden die Bauschwierigkeit und das Tauchen der Struktur verringert.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein neuartiges Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage, konkret eine strukturelle Optimierung gegenüber herkömmlichen zugspannungsverankerten Stützstruktursystemen für Offshore-Kraftanlagen.

STAND DER TECHNIK

[0002] Gegenüber der Onshore-Windkraft zeichnet sich die Offshore-Windkraft durch einzigartige Vorteile wie großes Windfeld, stabile Windstärke, hohe Leistung pro Windkraftanlage, geringe Einschränkung durch Lärmnormen, Sparen von Landressourcen und erleichterte Verwirklichung großtechnischer Produktion aus. Eine zugspannungsverankerte Offshore-Windkraftanlage (Tension Leg Platform Wind Turbine, TLPWT) leitet sich von einer zugspannungsverankerten Plattform ab und eignet sich für Gewässer mittlerer Tiefe. Dabei werden aufrechte Spannkabel zur Verankerung und Befestigung verwendet und an dem untersten Bereich des Turms sind drei bis vier Auftriebszylinder angebracht, die in der Regel einen runden oder quadratischen Querschnitt aufweisen und der ganzen Struktur eine Auftriebskraft bereitstellen können. Die beiden Enden des Spannkabels sind jeweils mit einem Ende des Auftriebszylinders bzw. dem Meeresgrund verbunden und bei normalem Betrieb befindet sich das Spannkabel in einem gespannten Zustand. Aufgrund des einfachen Aufbaus weisen zugspannungsverankerte Offshore-Windkraftanlagen breite Anwendungs- und Verbreitungsaussichten auf.

[0003] Jedoch wird bei einer zugspannungsverankerten Offshore-Windkraftanlage einerseits an der Verbindungsstelle zwischen dem Auftriebszylinder und dem Turm aufgrund eines großen Biegemoments einzelner Bauteile eine große lokale Zugspannungskraft erzeugt, sodass die Stelle äußerst für Beschädigung anfällig ist. Andererseits tritt bei widrigen Witterungsbedingungen eine seitliche Verschiebung der zugspannungsverankerten Offshore-Windkraftanlage auf, sodass das Spannkabel eine ausreichend große innere Kraft erzeugen muss, um eine effektive Beschränkung der Windkraftanlage zu bewirken, während eine Zunahme der inneren Kraft des Spannkabels zu einem erhöhten Risiko eines Bruchausfalls führt, in welchem Fall das Umkippen der ganzen Windkraftanlage verursacht wird. Offshore-Windkraftanlagen sind in der Regel flächig angeordnet und bilden somit ein Offshore-Windfeld. Wenn eine zusammengefallene Windkraftanlage beim Wegtreiben mit anderen Windkraftanlagen kollidiert, werden dann weitere Windkraftanlagen beschädigt.

[0004] Zusammenfassend liegen bei bestehenden Stützstruktursystemen für Offshore-Windkraftanlagen folgende Nachteile vor:

1) Bei einer zugspannungsverankerten Offshore-Windkraftanlage wird an der Verbindungsstelle zwischen dem Auftriebszylinder und dem Turm eine große lokale Zugspannungskraft erzeugt, sodass die Stelle äußerst für Beschädigung anfällig ist.

2) Bei einem vertikal angeordneten Spannkabel ist seine innere Kraft empfindlich für Änderung äußerer Belastung, insbesondere für Änderung der Belastung in horizontaler Richtung. Bei widrigen Witterungsbedingungen neigt die innere Kraft des Spannkabels zur Zunahme und daher ist ein Ausfallrisiko zu erwarten. Der Ausfall des Spannkabels führt unvermeidlich zum Umkippen der ganzen Windkraftanlage. Aus diesem Grund beeinflusst die Sicherheitsfähigkeit des Spannkabels unmittelbar die Lebensdauer der ganzen Windkraftanlage.

3) Unzureichende Gesamtstabilität der Windkraftanlage. Wenn das Stützstruktursystem für Windkraftanlagen einer großen Belastung infolge von Wind, Wellen oder Wasserstrom ausgesetzt ist, kann es bei einem Ausfall eines gespannten Spannkabels zum Umkippen des ganzen Struktursystems kommen, in welchem Fall die darüber angeordnete Windkraftanlage ins Wasser fällt und versagt. Des Weiteren sind Offshore-Windkraftanlagen in der Regel flächig angeordnet und bilden ein Windfeld, sodass beim Bruch eines Spannkabels das Umkippen der Struktur verursacht wird und andere Spannkabel nacheinander brechen, in welchem Fall ein unbeschränktes Wegtreiben der Struktur zu erwarten ist, wodurch die Sicherheit anderer Windkraftanlagen im Windfeld gefährdet wird.

INHALT DER VORLIEGENDEN ERFINDUNG

[0005] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, zum Lösen des Problems im Stand der Technik durch Vorsehen einer Spar-Boje und eines Verstärkungsseils ein seilverstärktes Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage bereitzustellen, womit die Stabilität des ganzen Stützstruktursystems erhöht, das Biegemoment des Turms und des Auftriebszylinders verringert und die Kraftaufnahme-Eigenschaft der Struktur verbessert wird. Erfindungsgemäß werden ferner die Vorteile der Spar-Boje und des kettenlinienartigen Spannkabels kombiniert, um ein kettenlinienartiges Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage zu bilden. Alternativ dazu werden die Vorteile der Spar-Boje, des kettenlinienartigen Spannkabels und der vertikalen Dämpfungserhöhungseinrichtung kombiniert, um ein Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage mit erhöhter vertikaler Dämpfung zu bilden, womit die Einsatzsicherheit der Windkraftanlagen bessert sichergestellt werden kann.

[0006] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst durch ein Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage, das einen Turm, eine Spar-Boje, mehrere Verstärkungsseile, mehrere Spannkabel und mehrere Auftriebszylinder umfasst, wobei die Windkraftanlage an dem obersten Bereich des Turms anordbar ist, wobei ein erstes Ende des einzelnen Auftriebszylinders an einem Verbindungsteil des untersten Bereichs des Turms angeordnet ist, wobei die Spar-Boje an dem untersten Bereich des Turms angeordnet und innen mit Ballast beladen ist, wobei das obere Ende des einzelnen Verstärkungsseils mit dem Turm verbunden und sein unteres Ende mit einem zweiten Ende des zugeordneten Auftriebszylinders verbunden ist, und wobei das untere Ende des einzelnen Spannkabels am Meeresgrund verankerbar und sein oberes Ende mit dem zweiten Ende des Auftriebszylinders verbunden ist.

[0007] Optional ist vorgesehen, dass sich die Spar-Boje und der Turm auf ein und derselben Lotlinie befinden.

[0008] Optional ist vorgesehen, dass sich die Spar-Boje unterhalb des Auftriebszylinders befindet.

[0009] Beim Spannkabel handelt es sich um ein aufrechtes Spannkabel, das in vertikaler Richtung angeordnet ist.

[0010] Das Spannkabel ist an einem Ende mit einer Meeresgrund-Verankerungsstruktur verbindbar, während das andere Ende mit dem zweiten Ende des Auftriebszylinders fest verbunden ist und dann sich nach oben erstreckt, um mit dem Turm verbunden zu sein und somit ein Verstärkungsseil zu bilden.

[0011] Optional ist vorgesehen, dass die Auftriebszylinder radial und in gleichem Winkelabstand zueinander an dem Umfang des Turms angeordnet sind.

[0012] Optional ist vorgesehen, dass der Auftriebszylinder einen runden, rechteckigen oder polygonalen Querschnitt aufweist.

[0013] Optional ist vorgesehen, dass durch Aufballastieren der Spar-Boje die vertikale Höhenstellung des Struktursystems abgesenkt wird, um das Anbringen der Spannkabel zu erleichtern, während durch Abballastieren der Spar-Boje das Aufschwimmen des Struktursystems bewirkt wird, um die angebrachten Spannkabel vorzuspannen.

[0014] Optional ist vorgesehen, dass die Verstärkungsseile die Spannkabel, den Turm und die Auftriebszylinder miteinander verbinden, um ein Gesamtsystem zur koordinierten Kraftaufnahme zu bilden, und dass die Verstärkungsseile symmetrisch und in gleichem Abstand zueinander an dem Umfang des Turms angeordnet sind, so dass das maximale Biegemoment des Turms auf die Verbindungsstellen zwischen den Verstärkungsseilen und dem Turm einwirkt.

[0015] Die vorliegende Ausgestaltung offenbart ein seilverstärktes Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage, bei dem auf der Grundlage des Konzepts einer bestehenden zugspannungsverankerten Offshore-Windkraftanlage eine Spar-Boje (Zylinder) vorgesehen und zwischen dem Auftriebszylinder und dem Turm zusätzlich ein Verstärkungsseil vorgesehen ist. Die Spar-Boje ist unmittelbar unter dem Turm angeordnet und durch Ballastieren wird die Struktur beim Bauen aufgerichtet und die Höhenstellung des Schwerpunkts der Struktur angepasst. Der Ballast kann beim Neigen der Struktur ein Wiederherstellungsmoment erzeugen, womit ein Umkippen der Struktur verhindert und somit die Beständigkeit der Struktur gegen Umkippen erhöht wird. Das Verstärkungsseil verbindet die Auftriebszylinder, den Turm und die Spannkabel zu einem Gesamtsystem zur koordinierten Kraftaufnahme. Mit dem Verstärkungsseil wird die vertikale Zugkraft, die durch das Spannkabel erzeugt wird, ausgeglichen, womit das Biegemoment des Auftriebszylinders verringert wird, sodass der Auftriebszylinder als ein Bauteil dient, das vor allem einer axialen Druckkraft entgegenwirkt und Kraft in axialer Richtung aufnimmt. Indem die Verstärkungsseile gruppenweise und symmetrisch angeordnet sind, wird ebenfalls das maximale Biegemoment des Turms verringert und die Betriebseffizienz des Auftriebszylinders sowie des Turms erhöht. Bei der vorliegenden Ausgestaltung wird unter Beibehaltung der Vorteile herkömmlicher zugspannungsverankerter Offshore-Windkraftanlagen die Kraftaufnahme-Eigenschaft der Struktur verbessert und die Auftriebsfähigkeit, die Stabilität sowie die Ausfallbeständigkeit erhöht. Des Weiteren werden Vorteile wie geringes Gewicht, komfortable Montage und breite Anwendbarkeit erzielt.

[0016] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst ferner durch ein Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage, das einen Turm, eine Spar-Boje, mehrere Auftriebszylinder und mehrere kettenlinienartige Spannkabel umfasst, wobei die Windkraftanlage an dem obersten Bereich des Turms anordbar ist, wobei ein erstes Ende des einzelnen Auftriebszylinders an einem Verbindungsteil des untersten Bereichs des Turms angeordnet ist, wobei die Spar-Boje an dem untersten Bereich des Turms angeordnet und innen mit Ballast beladen ist, und wobei das obere Ende des einzelnen kettenlinienartigen Spannkabels an den Auftriebszylinder oder die Spar-Boje angeschlossen ist, während sein unteres Ende am Meeresgrund verankerbar ist.

[0017] Optional ist vorgesehen, dass das obere Ende der mehreren symmetrisch am Umfang des Turms angeordneten kettenlinienartigen Spannkabel mit dem zweiten Ende des zugeordneten Auftriebszylinders verbunden ist.

[0018] Optional ist vorgesehen, dass die Auftriebszylinder radial und in gleichem Winkelabstand zueinander an dem Umfang des Turms angeordnet sind.

[0019] Optional ist vorgesehen, dass der Auftriebszylinder einen runden, rechteckigen oder polygonalen Querschnitt aufweist.

[0020] Optional ist vorgesehen, dass sich die Kettenlinienform des kettenlinienartigen Spannkabels mit der Änderung des Schwimmzustands ändert, wobei das kettenlinienartige Spannkabel Kraftkomponenten in zwei Richtungen, also in vertikaler und horizontaler Richtung, bereitstellt, und wobei sich das Verhältnis der Größe der Kraftkomponenten mit der Änderung der Kettenlinienform ändert.

[0021] Optional ist vorgesehen, dass durch den Ballast in der Spar-Boje ein Aufrichtkraftmoment erzeugt und der Winkel θ zwischen dem Turm und der Lotlinie auf einen voreingestellten Bereich begrenzt wird, also $\theta \in (-C, +C)$, wobei $C < 90^\circ$ und der Wert C anhand des Gewichts des Ballasts geregelt wird.

[0022] Die vorliegende Ausgestaltung offenbart ein kettenlinienartiges Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage, bei dem auf der Grundlage des Konzepts einer bestehenden zugspannungsverankerten Offshore-Windkraftanlage eine Spar-Boje zusätzlich vorgesehen ist und das aufrechte Spannkabel vorteilhafterweise durch ein kettenlinienartiges Spannkabel ersetzt wird. Somit wird der Bewegungsbereich der Struktur effektiv begrenzt und die Amplitude abrupter Änderung der inneren Kraft des Spannkabels beim Bewegen der Struktur verringert, was zu gesenkter Ausfallwahrscheinlichkeit des Spannkabels beiträgt. Die Spar-Boje ist unmittelbar unter dem Turm angeordnet und durch Beladen mit Ballast unterschiedlichen Gewichts kann die Struktur beim Bauen aufgerichtet und die Höhenstellung des Schwerpunkts der Windkraftanlage beim Betrieb angepasst werden. Somit wird die Stabilität der Struktur erhöht und ein Umkippen der Struktur beim Ausfall des Spannkabels verhindert. Bei der vorliegenden Ausgestaltung wird unter Beibehaltung der Vorteile herkömmlicher zugspannungsverankerter Offshore-Windkraftanlagen die Stabilität der ganzen Struktur durch die Spar-Boje verbessert und durch das kettenlinienartige Spannkabel die Wahrscheinlichkeit verringert, dass beim Wegtreiben der Struktur infolge eines Ausfalls des Spannkabels andere Windkraftanlagen gefährdet werden. Durch die Anwendung der Spar-Boje und des kettenlinienartigen Spannkabels werden die Stabilität der Struktur und die Bruchbeständigkeit des Spannkabels ausreichend erhöht und zudem wird die Bauschwierigkeit der Struktur verringert. Die vorliegende Ausgestaltung zeichnet sich durch bessere Auftriebsfähigkeit, Stabilität und Ausfallbeständigkeit sowie geringe Ausfallwahrscheinlichkeit des Spannkabels, komfortable Bauarbeit und breite Anwendbarkeit aus.

[0023] In einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass unter der Spar-Boje ferner eine vertikale Dämpfungserhöhungseinrichtung vorgesehen ist, die umgekehrt im Wasser angeordnet ist und deren Öffnung nach unten gerichtet ist.

[0024] Bei der Dämpfungserhöhungseinrichtung handelt es sich um einen Zylinder ohne unteren Deckel, der eine Zylinder-Oberplatte, eine Zylinder-Außenplatte und mehrere darin angeordnete Verstärkungsrippen umfasst, wobei die Zylinder-Außenplatte mit einer Öffnung versehen ist.

[0025] Die vorliegende Ausgestaltung offenbart eine Stützstruktur für eine Offshore-Windkraftanlage mit erhöhter vertikaler Dämpfung, bei der auf der Grundlage einer bestehenden zugspannungsverankerten Offshore-Windkraftanlagen-Stützstruktur eine Spar-Boje und eine vertikale Dämpfungserhöhungseinrichtung zusätzlich vorgesehen sind und das aufrechte Spannkabel vorteilhafterweise durch ein kettenlinienartiges Spannkabel ersetzt wird, um die Bewegung der Struktur zu begrenzen, womit die Änderungsamplitude der inneren Kraft des Spannkabels beim Bewegen der Struktur verringert und die Ausfallwahrscheinlichkeit des Spannkabels gesenkt wird. Die Spar-Boje ist unter dem Turm angeordnet und somit kann die Struktur beim Bauen aufgerichtet und die Höhenstellung des Schwerpunkts der Windkraftanlage angepasst werden. Die Dämpfungserhöhungseinrichtung ist als Zylinder ohne unteren Deckel ausgebildet, der umgekehrt im Wasser angeordnet ist, um die vertikale Dämpfung der Struktur zu erhöhen und somit den Einfluss von Tauchen auf die Struktur zu verringern. Bei der vorliegenden Ausgestaltung wird unter Beibehaltung der Vorteile herkömmlicher zugspannungsverankerter Offshore-Windkraftanlagen die Stabilität der ganzen Struktur durch die Spar-Boje verbessert und durch das kettenlinienartige Spannkabel die Wahrscheinlichkeit verringert, dass beim Wegtreiben der Struktur infolge eines Ausfalls des Spannkabels andere Windkraftanlagen gefährdet werden. Zudem wird über die Dämpfungserhöhungseinrichtung der Einfluss von Tauchen auf die Struktur verringert. Die Stabilität der Struktur und die Bruchbeständigkeit des Spannkabels werden durch die Anwendung der Spar-Boje, der vertikalen Dämpfungserhöhungseinrichtung und des kettenlinienartigen Spannkabels ausreichend erhöht und zudem werden die Bauschwierigkeit und das Tauchen der Struktur verringert. Die vorliegende Ausgestaltung zeichnet sich durch bessere Auftriebsfähigkeit, Stabilität und Ausfallbeständigkeit sowie geringe Ausfallwahrscheinlichkeit des Spannkabels, komfortable Bauarbeit, große vertikale Dämpfung, geringen Einfluss durch Tauchen und breite Anwendbarkeit aus.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0026] Darin zeigen

FIG 1 das seilverstärkte kombinierte Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach einem ersten Ausführungsbeispiel in einer schematischen Darstellung,

FIG 2 das Struktursystem nach dem ersten Ausführungsbeispiel in kombiniertem Zustand in einer schematischen Darstellung,

- FIG 3 das kettenlinienartige kombinierte Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach einem zweiten Ausführungsbeispiel in einer schematischen Darstellung,
- FIG 4 das Struktursystem nach dem zweiten Ausführungsbeispiel in kombiniertem Zustand in einer schematischen Darstellung,
- FIG 5 das kombinierte Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage mit erhöhter vertikaler Dämpfung nach einem dritten Ausführungsbeispiel in einer schematischen Darstellung,
- FIG 6 das Struktursystem nach dem dritten Ausführungsbeispiel in kombiniertem Zustand in einer schematischen Darstellung,
- FIG 7 die vertikale Dämpfungserhöhungseinrichtung in dem Struktursystem nach dem dritten Ausführungsbeispiel in einer dreidimensionalen schematischen Darstellung,
- FIG 8 die Kraftaufnahme des kettenlinienartigen Spannkabels nach dem zweiten und dem dritten Ausführungsbeispiel in einer schematischen Skizze.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0027] Nachfolgend werden konkrete Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen näher beschrieben.

Erstes Ausführungsbeispiel

[0028] Wie sich aus FIG 1 und 2 ergibt, umfasst ein seilverstärktes kombiniertes Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach dem vorliegenden Ausführungsbeispiel eine Windkraftanlage 1, einen Turm 2, ein Verstärkungsseil 3, ein Spannkabel 4, einen Auftriebszylinder 5 und eine Spar-Boje 6.

[0029] Die Windkraftanlage 1 ist an dem obersten Bereich des Turms 2 angeordnet. Ein erstes Ende des einzelnen Auftriebszylinders 5 ist an einem Verbindungsteil des untersten Bereichs des Turms 2 angeordnet. Der Auftriebszylinder 5 weist einen runden oder polygonalen Querschnitt auf. Die Anzahl des Auftriebszylinders 5 wird in Abhängigkeit von der Auftriebskraft, die durch die Struktur bereitgestellt werden soll, bestimmt

[0030] Die Spar-Boje 6, die an dem untersten Bereich des Turms 2 zusätzlich vorgesehen ist, befindet sich unterhalb des Auftriebszylinders 5 und auf ein und derselben Lotlinie wie der Turm 2. Die Spar-Boje 6 ist innen mit Ballast beladen, um den Schwerpunkt der ganzen Struktur zu senken und somit die Stabilität der Struktur zu erhöhen. Beim Neigen des Turms 2 erzeugt der Ballast in der Spar-Boje 6 ein Aufrichtmoment, um ein weiteres Neigen der Struktur zu verhindern.

[0031] Das obere Ende des einzelnen Verstärkungsseils 3 ist mit dem Turm 2 verbunden und sein unteres Ende ist mit einem zweiten Ende des Auftriebszylinders 5 verbunden. Das untere Ende des einzelnen Spannkabels 4 ist am Meeresgrund verankert und sein oberes Ende ist ebenfalls mit dem zweiten Ende des Auftriebszylinders 5 verbunden. Das Verstärkungsseil 3 und das Spannkabel 4 können lediglich eine Zugkraft aushalten, während sie keine Druckkraft aushalten können. Mit der vertikalen Komponente des Verstärkungsseils 3 wird die vertikale Zugkraft des Spannkabels 4 effektiv ausgeglichen, womit das durch das Spannkabel 4 erzeugte und auf den Auftriebszylinder 5 einwirkende Biegemoment verringert wird, sodass der Auftriebszylinder 5 von einem Bauteil, das einer Biegebelastung ausgesetzt ist, bei herkömmlicher Ausgestaltung in ein Bauteil, das vor allem einer Druckkraft ausgesetzt ist, umgewandelt wird. Somit wird die Betriebseffizienz des Auftriebszylinders 5 erheblich erhöht.

[0032] Beispielsweise ist das aufrechte Spannkabel 4 an einem Ende mit einer Meeresgrund-Verankerungsstruktur verbunden, während das andere Ende mit dem zweiten Ende des Auftriebszylinders 5 fest verbunden ist und dann sich schräg nach oben erstreckt, um mit dem Turm 2 verbunden zu sein und somit ein Verstärkungsseil 3 zu bilden. Somit wird die Bewegung der Struktur ausreichend beschränkt und ein sicherer Betrieb der Offshore-Windkraftanlage an ihrer ursprünglichen Stelle besser gewährleistet.

[0033] Das Verstärkungsseil 3 verbindet das Spannkabel 4, den Turm 2 und den Auftriebszylinder 5 zu einem Gesamtsystem zur koordinierten Kraftaufnahme. Die Verstärkungsseile 3 sind symmetrisch und in gleichem Abstand zueinander an dem Umfang des Turms 2 angeordnet, sodass die innere Kraft der Verstärkungsseile 3 durcheinander angepasst und ausgeglichen werden kann. Die gruppenweise angeordneten Verstärkungsseile 3 tragen zu verkürzter Auslegerlänge des Turms 2 bei. Mit den Verstärkungsseilen 3 wird die Kraftaufnahme-Eigenschaft der Verbindungsstelle zwischen dem Turm 2 und dem Auftriebszylinder 5 wesentlich verbessert und somit kann die Lebensdauer des ganzen Struktursystems verlängert werden. Der Angriffspunkt des maximalen Biegemoments des Turms 2 wird von der Verbindungsstelle zwischen dem Turm 2 und dem Auftriebszylinder 5 nach oben bis zu der Verbindungsstelle zwischen dem Verstärkungsseil 3 und dem Turm 2 verschoben und das maximale Biegemoment des Turms 2 wird ebenfalls verringert, womit die Kraftaufnahme-Eigenschaft des Turms 2 verbessert und somit die Betriebseffizienz des Turms 2 erhöht wird.

[0034] Des Weiteren kann durch Aufballastieren der Spar-Boje 6 die vertikale Höhenstellung des ganzen Struktursystems abgesenkt werden, um das Anbringen der Spannkabel 4 zu erleichtern, während nach Abschluss der Montage durch Abballastieren der Spar-Boje 6 das Aufschwimmen des Struktursystems bewirkt wird, um die Spannkabel 4 vorzuspannen. Somit wird eine Beschränkung der ganzen Struktur durch die Spannkabel 4 verwirklicht.

[0035] Auch beim Bruchausfall irgendeines Spannkabels kann ein Umkippen der Struktur unter Einwirkung der Spar-Boje 6 vermieden werden, womit die Beeinträchtigung der ganzen Struktur durch lokale Beschädigung der Spannkabel und zudem auch der Einfluss der Beschädigung der Struktur auf andere Windkraftanlagen vermindert werden.

Zweites Ausführungsbeispiel

[0036] Wie sich aus FIG 3 und 4 ergibt, umfasst ein kettenlinienartiges kombiniertes Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach dem vorliegenden Ausführungsbeispiel eine Windkraftanlage 1, einen Turm 2, einen Auftriebszylinder 5, ein kettenlinienartiges Spannkabel 41 und eine Spar-Boje 6.

[0037] Die Windkraftanlage 1 ist an dem obersten Bereich des Turms 2 angeordnet. Ein erstes Ende des einzelnen Auftriebszylinders 5 ist an einem Verbindungsteil des untersten Bereichs des Turms 2 angeordnet. Die Auftriebszylinder 5 sind radial und in gleichem Winkelabstand zueinander an dem Umfang des Turms 2 angeordnet. Die Auftriebszylinder 5 weisen einen runden, rechteckigen oder polygonalen Querschnitt auf und können der Struktur eine Auftriebskraft bereitstellen. Gleichzeitig dienen sie als Hauptquelle des Auftriebskraftvorrats für die Struktur.

[0038] Die Spar-Boje 6, die an dem untersten Bereich des Turms 2 zusätzlich vorgesehen ist, befindet sich unterhalb des Auftriebszylinders 5 und kann mit Ballast beladen werden. Durch Einstellen des Gewichts des Ballasts kann der Schwerpunkt der Struktur gesenkt und somit die Stabilität der Struktur erhöht werden. Die Spar-Boje 6 befindet sich in einer bestimmten Tiefe unter der Meeresoberfläche, womit nicht nur die große Stoßwirkung von Wellenlast verringert, sondern auch der Schwerpunkt der ganzen Struktur gesenkt und die Stabilität der Struktur verbessert wird.

[0039] Der Ballast der Spar-Boje 6 kann beim Neigen und Umkippen der Struktur ein Wiederherstellungsmoment bereitstellen, womit die Stabilität der Struktur effektiv erhöht wird. Konkret erzeugt der Ballast in der Spar-Boje 6, wenn der Turm 2 der Struktur sich neigt und einen Winkel θ mit der Lotlinie einschließt, ein Aufrichtmoment. Beim Ausfall eines Spannkabels kann der Neigungswinkel θ durch die Spar-Boje 6 streng auf einen bestimmten Bereich beschränkt werden, also $\theta \in (-C, +C)$, um ein Umkippen der Struktur zu verhindern, wobei $C < 90^\circ$ und der Wert C anhand des Gewichts des Ballasts geregelt werden kann.

[0040] Die mehreren symmetrisch angeordneten kettenlinienartigen Spannkabel 41 können am oberen Ende mit irgendeiner Stelle des Auftriebszylinders 5 oder mit irgendeiner Stelle der Spar-Boje 6 verbunden sein. Das obere Ende des einzelnen dargestellten kettenlinienartigen Spannkabels 41 ist an das zweite Ende des Auftriebszylinders 5 angeschlossen, während sein unteres Ende am Meeresgrund verankert ist.

[0041] Ein derart verankertes Spannkabel nimmt die Form einer Kettenlinie ein, deren Form schwierig unmittelbar zu bestimmen ist und sich mit der Änderung des Schwimmzustands ändert. Durch eine aktive förmliche Anpassung des kettenlinienartigen Spannkabels 41 wird eine Begrenzung der Struktur bewirkt.

[0042] Während des Einsatzes der Windkraftanlage befindet sich das kettenlinienartige Spannkabel 41 in gespanntem Zustand und beschränkt die freie Verschiebung und Drehung der Windkraftanlagenstruktur, womit ein sicherer Betrieb der Offshore-Windkraftanlage bei einer bestimmten Bewegungsfreiheit sichergestellt wird.

[0043] Wie aus FIG 8 zu entnehmen ist, kann das kettenlinienartige Spannkabel 41 Kraftkomponenten in zwei Richtungen, also in vertikaler und horizontaler Richtung, effektiv bereitstellen, wobei sich das Verhältnis der Größe der Kraftkomponenten mit der Änderung der Kettenlinienform ändert. Die Punkt i entspricht dem oberen Ende des kettenlinienartigen Spannkabels 41 und die Kraftkomponenten in horizontaler und vertikaler Richtung werden jeweils mit F_{1x} bzw. F_{1y} bezeichnet, während die Punkt j dem unteren Ende des kettenlinienartigen Spannkabels 41 entspricht und die Kraftkomponenten in horizontaler und vertikaler Richtung jeweils mit F_{jx} bzw. F_{jy} bezeichnet werden. L steht für den horizontalen Abstand zwischen den beiden Enden, während H für den vertikalen Abstand zwischen den beiden Enden steht, q steht für gleichmäßig verteilten Last an dem kettenlinienartigen Spannkabel (dabei kann es sich um die Differenz zwischen der Schwerkraft und der Auftriebskraft handeln).

[0044] Wenn nach Verankern mittels des kettenlinienartigen Spannkabels 41 sich die Windkraftanlagenstruktur unter Einwirkung einer großen äußeren Kraft bewegen, werden dann kettenlinienartige Spannkabel 41, die eine derartige Bewegung beschränken, weiter gespannt und gleichzeitig wird die Effizienz der durch diese erzeugten horizontalen Kraftkomponente erhöht, sodass die Bewegung der Struktur durch mehr Spannkabel beschränkt wird, während die Spannkraft der der Bewegungsrichtung zugewandten kettenlinienartigen Spannkabel 41 aufgrund der Lockerung abnimmt, bis die horizontale Kraftkomponente auf Null sinkt, wodurch eine weitere Zunahme der inneren Kraft der kettenlinienartigen Spannkabel 41, deren innere Kraft bereits eine Zunahme erfährt hat, vermindert wird. Aufgrund der Zusammenwirkung der Spannkabel 41 in zwei Richtungen und der erhöhten Effizienz der durch die Spannkabel 41 beim Spannen bereitgestellten horizontalen Kraftkomponente kann eine abrupte Zunahme der Spannkraft der Spannkabel bei einer horizontalen Verschiebung der Windkraftanlage effektiv vermieden werden. Somit kann die Ausfallwahrscheinlichkeit der Spannkabel verringert und die Sicherheitsfähigkeit der Anlage beim Einsatz erhöht.

[0045] Das kettenlinienartige Spannkabel 41 kann eine horizontale Zugkraft F_x und eine vertikale Zugkraft F_y bereitstellen, womit der Nachteil bei herkömmlichen aufrechten Spannkabeln, dass beim Bereitstellen einer horizontalen Zugkraft die innere Kraft abrupt zunimmt, vermieden wird, womit ein Ausfall des Spannkabels effektiv verhindert und somit die Sicherheitsfähigkeit der Anlage beim Einsatz verbessert wird. Somit wird die Ausfallwahrscheinlichkeit des kettenlinienartigen Spannkabels 41 verringert, weshalb die Wahrscheinlichkeit, dass die Spannkabel nacheinander versagen, ebenfalls reduziert wird. Aufgrund der Verwendung des kettenlinienartigen Spannkabels 41 wird die Anwendung des Struktursystems in der Tiefsee ermöglicht und der Nachteil überwunden, dass die Anwendung herkömmlicher zugspannungsverankerter Offshore-Windkraftanlagen auf Flachmeer eingeschränkt ist.

[0046] Die Auftriebszylinder 5 und die kettenlinienartigen Spannkabel 41 sind radial symmetrisch am Umfang des Turms 2 angeordnet. Der Auftriebszylinder 5 und der unter der Wasseroberfläche befindliche Teil des Turms 2 können eine ausreichende Auftriebskraft für die Struktur bereitstellen. Das kettenlinienartige Spannkabel 41 befindet sich in gespanntem Zustand, womit der Bewegungsbereich der Struktur streng beschränkt wird. Mit der vertikalen Kraftkomponente F_y der Spannkraft F des Spannkabels 41 kann das Tauchen der Windkraftanlage effektiv vermindert werden.

[0047] Aufgrund des Vorhandenseins der Spar-Boje 6 kann nach erfolgter Installation der Struktur die vertikale Position der Struktur in Abhängigkeit von der vertikalen Höhe des Spannkabels eingestellt werden. Da die tatsächliche Länge des kettenlinienartigen Spannkabels 41 größer als die kürzeste Entfernung zwischen seinen beiden Enden ist, werden somit die Installation und das Vorspannen des ganzen Spannkabels 41 erleichtert. Durch Aufballastieren der Spar-Boje 6 kann die vertikale Höhenstellung des ganzen Struktursystems abgesenkt und somit das Anbringen der Spannkabel 41 erleichtert werden, während nach Abschluss der Montage ein Abballastieren erfolgt, um mittels der Auftriebskraft der Struktur die Spannkabel 41 vorzuspannen und somit eine Beschränkung der ganzen Struktur durch die Spannkabel 41 zu verwirklichen.

[0048] Auch beim Bruch irgendeines kettenlinienartigen Spannkabels 41 kann unter Einwirkung des Aufrichtmoments der Spar-Boje 6 ein Umkippen der Struktur vermieden werden, womit der Einfluss des Ausfalls einzelnen kettenlinienartigen Spannkabels 41 auf die ganze Struktur verringert wird. Somit kann effektiv vermieden werden, dass die oben angeordnete Windkraftanlage ins Wasser fällt und beschädigt wird.

Drittes Ausführungsbeispiel

[0049] Wie sich aus FIG 5 und 6 ergibt, ist bei einem kombinierten Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage mit erhöhter vertikaler nach dem vorliegenden Ausführungsbeispiel auf der Grundlage des zweiten Ausführungsbeispiels zusätzlich eine vertikale Dämpfungserhöhungseinrichtung 10 vorgesehen. Bei der Struktur kann hinsichtlich der Verbindung, der Anordnung und der Ausführungswirkung für die Windkraftanlage 1, den Turm 2, den Auftriebszylinder 5, das kettenlinienartige Spannkabel 41 und die Spar-Boje 6 Bezug auf das zweite Ausführungsbeispiel genommen werden und auf eine Wiederholung wird daher verzichtet.

[0050] Die Dämpfungserhöhungseinrichtung 10 nach dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist als Zylinder ohne unteren Deckel ausgebildet, der unterhalb der Spar-Boje 6 und umgekehrt im Wasser angeordnet ist. Da Wasser innerhalb des Zylinders nicht frei ausströmen kann, werden somit bei einer vertikalen Bewegung der Stützstruktur die Zusatzmasse und die hydrodynamische Dämpfung während der Bewegung der Struktur erhöht, was für eine größere der Bewegungsrichtung entgegengesetzt gerichtete Widerstandskraft sorgt. Somit wird die Aufgabe zum Verringern der Tauchwirkung erfüllt.

[0051] Die vertikale Dämpfungserhöhungseinrichtung 10 befindet sich am unteren Ende der Struktur und dient zum Erhöhen der vertikalen Dämpfung der Struktur, womit das Tauchen der Struktur und der Einfluss von Tauchen auf das kettenlinienartige Spannkabel 41 und die ganze Struktur verringert werden. Dies trägt zu verbesserter Sicherheitsfähigkeit der Struktur während des Einsatzes bei. Somit wird ferner der Schwerpunkt der Struktur gesenkt und das Verbinden der vertikalen Dämpfungserhöhungseinrichtung 10 mit der Spar-Boje 6 erleichtert.

[0052] Wie sich aus FIG 7 ergibt, umfasst die vertikale Dämpfungserhöhungseinrichtung 10 eine Zylinder-Außenplatte 7, eine Verstärkungsrippe 8 und eine Zylinder-Oberplatte 9. Dabei kann die Zylinder-Außenplatte 7 eine Öffnung aufweisen. Dementsprechend wird die Höhe der Verstärkungsrippe 8 in Abhängigkeit von der Anzahl und der Größe der Öffnung der Zylinder-Außenplatte 7 bestimmt.

[0053] Zusammenfassend wird bei dem seilverstärkten kombinierten Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach dem ersten Ausführungsbeispiel erzielt, dass durch Vorgesehen des Verstärkungsseils 3 eine effektive Ausgleichung der vertikalen Zugkraft des Spannkabels 4 ermöglicht wird, sodass der Auftriebszylinder 5 von einem Bauteil, das einer Biegebelastung ausgesetzt ist, in ein Bauteil, das einer Druckkraft ausgesetzt ist, umgewandelt wird, womit die Betriebseffizienz des Auftriebszylinders 5 erheblich erhöht und gleichzeitig die Verbindungsbelastung der Verbindungsstelle zwischen dem Auftriebszylinder 5 und dem Turm 2 effektiv verringert wird. Das Verstärkungsseil 3 verbindet das Spannkabel 4, den Turm 2 und den Auftriebszylinder 5 zu einem Gesamtsystem zur koordinierten Kraftaufnahme, sodass das Biegemoment des Turms 2 und des Auftriebszylinders 5 wesentlich verringert wird. Des Weiteren ist unmittelbar unter dem Turm 2 eine Spar-Boje 6 zum Einstellen der Höhenstellung des Schwerpunkts der Struktur und zum Verbessern der Stabilität der Struktur zusätzlich vorgesehen, womit gleichzeitig das Aufrichten der Struktur bei Installation sowie die Montage und das Spannen des Spannkabels erleichtert werden.

[0054] Bei der kettenlinienartigen kombinierten Stützstruktur für eine Offshore-Windkraftanlage nach dem zweiten Ausführungsbeispiel ist ein kettenlinienartig ausgebildetes Spannkabel zur Beschränkung der Verschiebung und der Drehung der Struktur vorgesehen. Mittels des Merkmals, dass mit einer Kettenlinie eine Kraftkomponente in der horizontalen und der vertikalen Richtung bereitgestellt werden kann, wird die innere Kraft des kettenlinienartigen Spannkabels 41, die sich aus der horizontalen Belastung, der die Windkraftanlage ausgesetzt ist, und der Tauchwirkung ergibt, vermindert. Durch effektive Verringerung des Spitzenwerts der inneren Kraft des Spannkabels während des Einsatzes der Windkraftanlage wird die Bruchwahrscheinlichkeit des Spannkabels reduziert. Mit der Spar-Boje 6, die unter dem Turm 2 vorgesehen ist, kann die Höhenstellung des Schwerpunkts der Struktur eingestellt, die Stabilität der Struktur erhöht und das Aufrichten der Struktur bei Installation und die Montage des Spannkabels erleichtert werden.

[0055] Bei der kombinierten Stützstruktur für eine Offshore-Windkraftanlage mit erhöhter vertikaler Dämpfung nach dem dritten Ausführungsbeispiel ist ferner vorgesehen, dass die vertikale Dämpfungserhöhungseinrichtung 10, die zylinderförmig ausgebildet ist und keinen unteren Deckel aufweist, mit dem unteren Ende der Spar-Boje verbunden und umgekehrt im Wasser angeordnet ist. Durch Erhöhen der Zusatzmasse von Wasser und die hydrodynamische Dämpfung wird die Widerstandskraft bei einer vertikalen Bewegung der Struktur erhöht, die Tauchamplitude der Struktur verringert und der Einfluss von Tauchen auf das kettenlinienartige Spannkabel und die ganze Struktur reduziert.

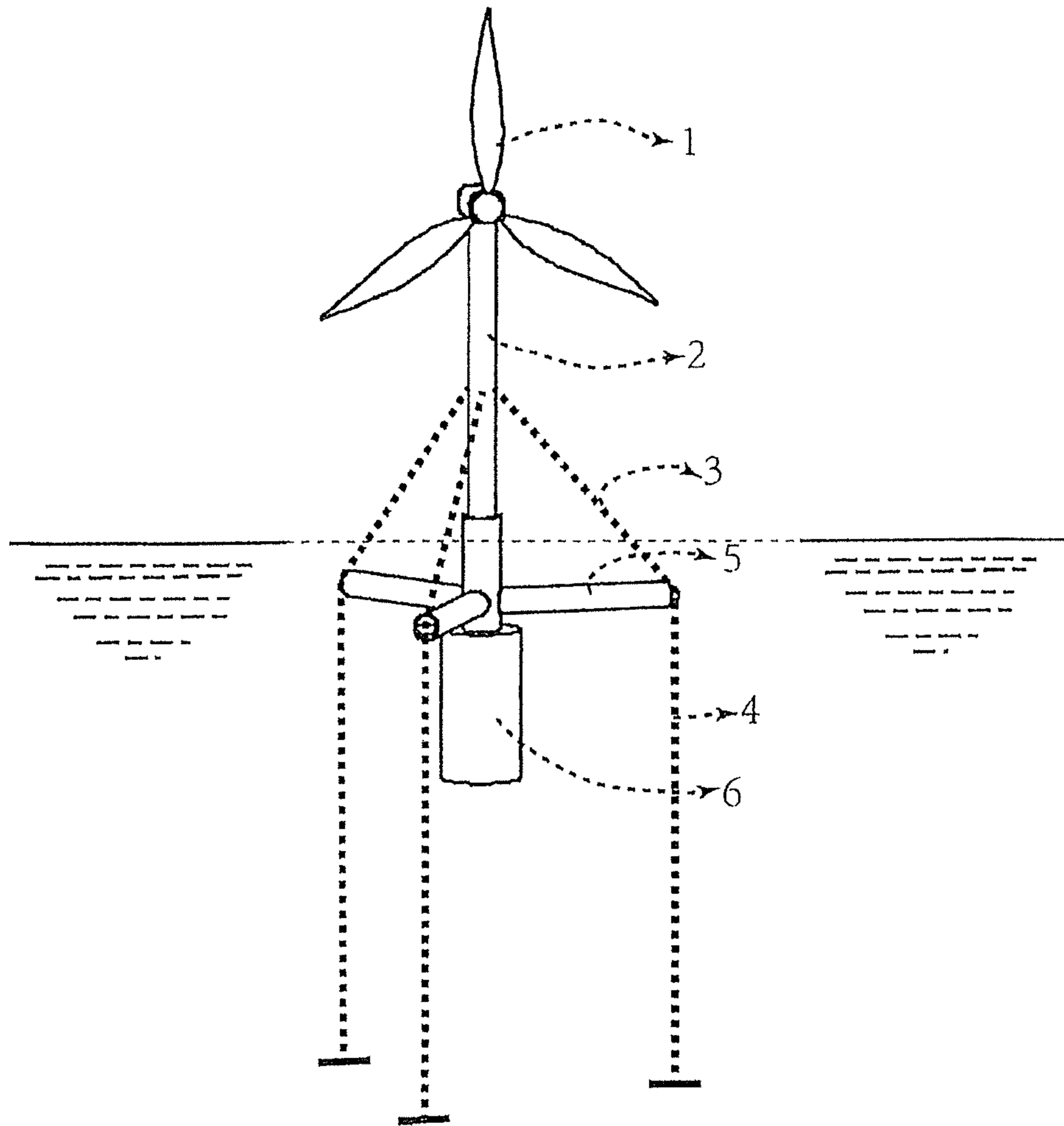
[0056] Trotz der bisherigen ausführlichen Erläuterung der vorliegenden Erfindung anhand der vorstehenden bevorzugten Ausführungsbeispiele soll es sich verstehen, dass die obige Beschreibung keineswegs als Einschränkung der vorliegenden Erfindung angesehen werden soll. Nach Kenntnisnahme der vorstehenden Inhalte liegen den Fachleuten auf diesem Gebiet verschiedene Modifikationen und Substitutionen nahe. Daher soll der Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung durch die beigefügten Ansprüche definiert werden.

Patentansprüche

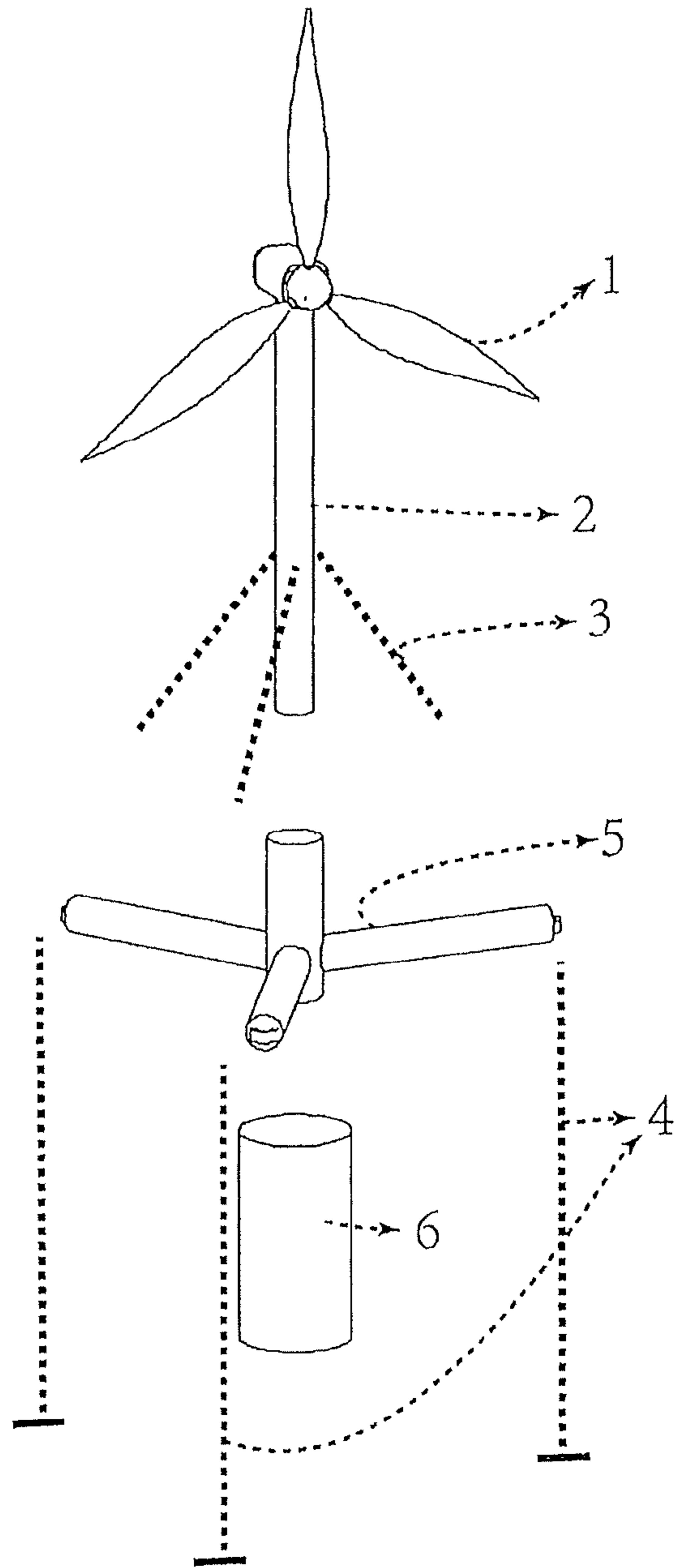
1. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage, dadurch gekennzeichnet, dass es einen Turm (2), eine Spar-Boje (6), mehrere Verstärkungsseile (3), mehrere Spannkabel (4) und mehrere Auftriebszylinder (5) umfasst, wobei eine Windkraftanlage (1) an dem obersten Bereich des Turms (2) anordbar ist, wobei ein erstes Ende des jeweiligen Auftriebszylinders (5) an einem Verbindungsteil des untersten Bereichs des Turms (2) angeordnet ist, wobei die Spar-Boje (6) an dem untersten Bereich des Turms (2) angeordnet und innen mit Ballast beladen ist, wobei das obere Ende des jeweiligen Verstärkungsseils (3) mit dem Turm (2) verbunden und sein unteres Ende mit einem zweiten Ende des zugeordneten Auftriebszylinders (5) verbunden ist, wobei das untere Ende des jeweiligen Spannkabels (4) am Meeresgrund verankerbar und sein oberes Ende mit dem zweiten Ende des Auftriebszylinders (5) verbunden ist, wobei, in einem montierten Zustand, das jeweilige Spannkabel (4) an einem Ende mit einer Meeresgrund-Verankerungsstruktur verbindbar ist, während das andere Ende mit dem zweiten Ende des jeweiligen Auftriebszylinders (5) fest verbunden ist und dann sich nach oben erstreckt, um mit dem Turm (2) verbunden zu sein und somit ein Verstärkungsseil (3) zu bilden, und wobei es sich bei dem jeweiligen Spannkabel (4) um ein aufrechtes Spannkabel (4) handelt, das in vertikaler Richtung angeordnet ist.
2. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Spar-Boje (6) und der Turm (2) auf ein und derselben Lotlinie befinden.
3. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Spar-Boje (6) unterhalb der Auftriebszylinder (5) befindet.
4. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Auftriebszylinder (5) radial und in gleichem Winkelabstand zueinander an dem Umfang des Turms (2) angeordnet sind.
5. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Auftriebszylinder (5) einen runden, rechteckigen oder polygonalen Querschnitt aufweist.
6. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es derart ausgebildet ist, dass durch Aufballastieren der Spar-Boje (6) die vertikale Höhenstellung des Struktursystems abgesenkt wird, um das Anbringen der Spannkabel (4) zu erleichtern, während durch Abballastieren der Spar-Boje (6) das Aufschwimmen des Struktursystems bewirkt wird, um die angebrachten Spannkabel (4) vorzuspannen.
7. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstärkungsseile (3) die Spannkabel (4), den Turm (2) und die Auftriebszylinder (5) miteinander verbinden, um ein Gesamtsystem zur koordinierten Kraftaufnahme zu bilden, und dass die Verstärkungsseile (3) symmetrisch und in gleichem Abstand zueinander an dem Umfang des Turms (2) angeordnet sind, sodass das maximale Biegemoment des Turms (2) auf die Verbindungsstellen zwischen den Verstärkungsseilen (3) und dem Turm (2) einwirkt.

CH 715 604 B1

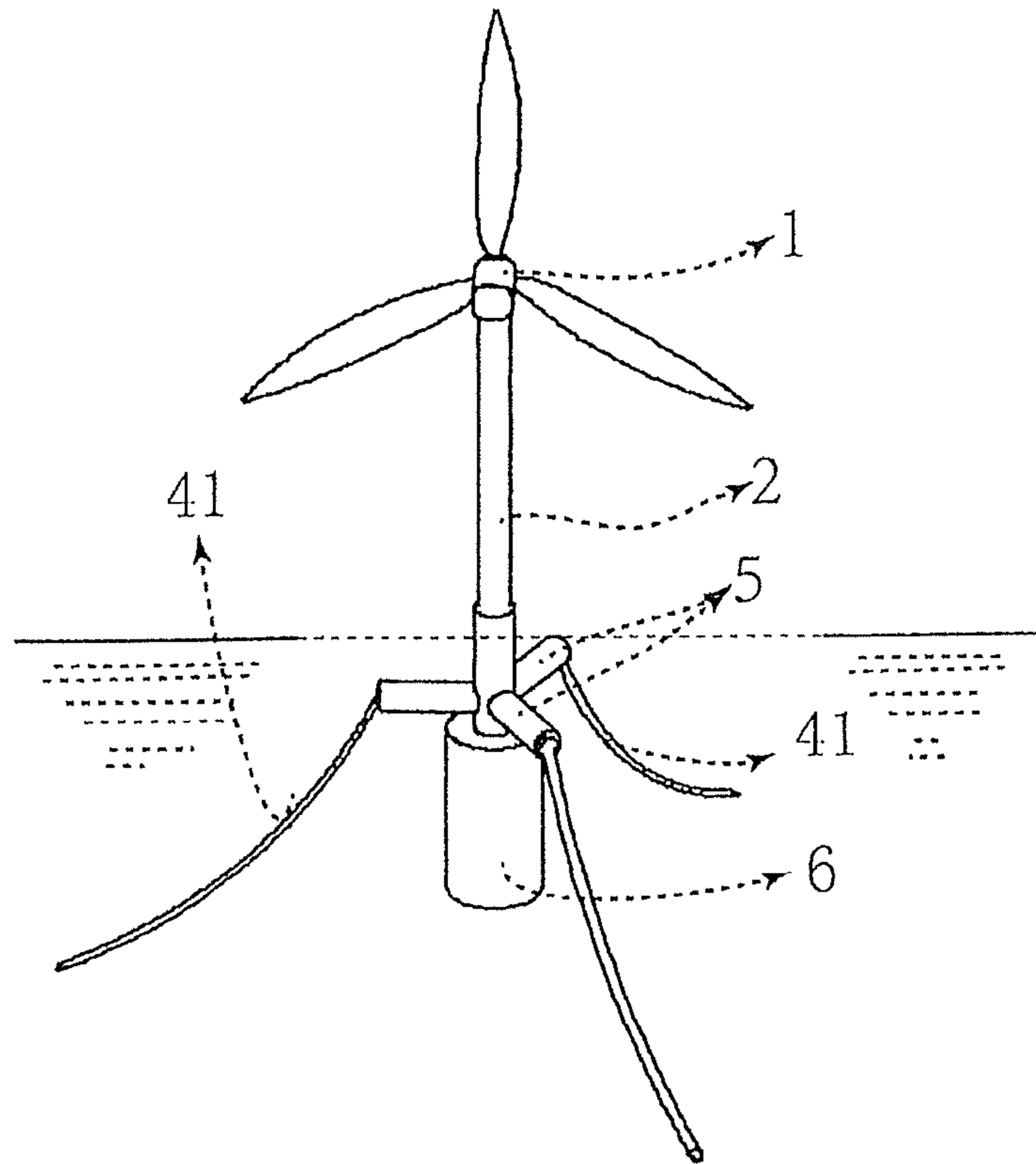
8. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage, dadurch gekennzeichnet, dass es einen Turm (2), eine Spar-Boje (6), mehrere Auftriebszylinder (5) und mehrere kettenlinienartige Spannkabel (41) umfasst, wobei eine Windkraftanlage (1) an dem obersten Bereich des Turms (2) anordbar ist, wobei ein erstes Ende des jeweiligen Auftriebszylinders (5) an einem Verbindungsteil des untersten Bereichs des Turms (2) angeordnet ist, wobei die Spar-Boje (6) an dem untersten Bereich des Turms (2) angeordnet und innen mit Ballast beladen ist, und wobei, in einem montierten Zustand, das obere Ende des jeweiligen kettenlinienartigen Spannkabels (41) an den Auftriebszylinder (5) oder die Spar-Boje (6) angeschlossen ist, während sein unteres Ende am Meeresgrund verankerbar ist.
9. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass unter der Spar-Boje (6) ferner eine vertikale Dämpfungserhöhungseinrichtung (10) vorgesehen ist, die umgekehrt im Wasser angeordnet ist und deren Öffnung nach unten gerichtet ist.
10. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei der Dämpfungserhöhungseinrichtung um einen Zylinder ohne unteren Deckel handelt, der eine Zylinder-Oberplatte (9), eine Zylinder-Außenplatte (7) und mehrere darin angeordnete Verstärkungsrippen (8) umfasst, wobei die Zylinder-Außenplatte (7) mit einer Öffnung versehen ist.
11. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass das obere Ende der mehreren symmetrisch am Umfang des Turms (2) angeordneten kettenlinienartigen Spannkabel (41) mit dem zweiten Ende des zugeordneten Auftriebszylinders (5) verbunden ist.
12. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Auftriebszylinder (5) radial und in gleichem Winkelabstand zueinander an dem Umfang des Turms (2) angeordnet sind.
13. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Auftriebszylinder (5) einen runden, rechteckigen oder polygonalen Querschnitt aufweist.
14. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Kettenlinienform des kettenlinienartigen Spannkabels (41) mit der Änderung des Schwimmzustands ändert, wobei das kettenlinienartige Spannkabel (41) Kraftkomponenten in zwei Richtungen, also in vertikaler und horizontaler Richtung, bereitstellt, und wobei sich das Verhältnis der Größe der Kraftkomponenten mit der Änderung der Kettenlinienform ändert.
15. Stützstruktursystem für eine Offshore-Windkraftanlage nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Stützstruktursystem dazu ausgebildet ist, den Ballast in der Spar-Boje (6) für ein Aufrichtkraftmoment zu verwenden, und wobei der Winkel θ zwischen dem Turm (2) und der Lotlinie auf einen voreingestellten Bereich begrenzt wird, also $\theta \in (-C, +C)$, wobei $C < 90^\circ$ und der Wert C anhand des Gewichts des Ballasts geregelt wird.



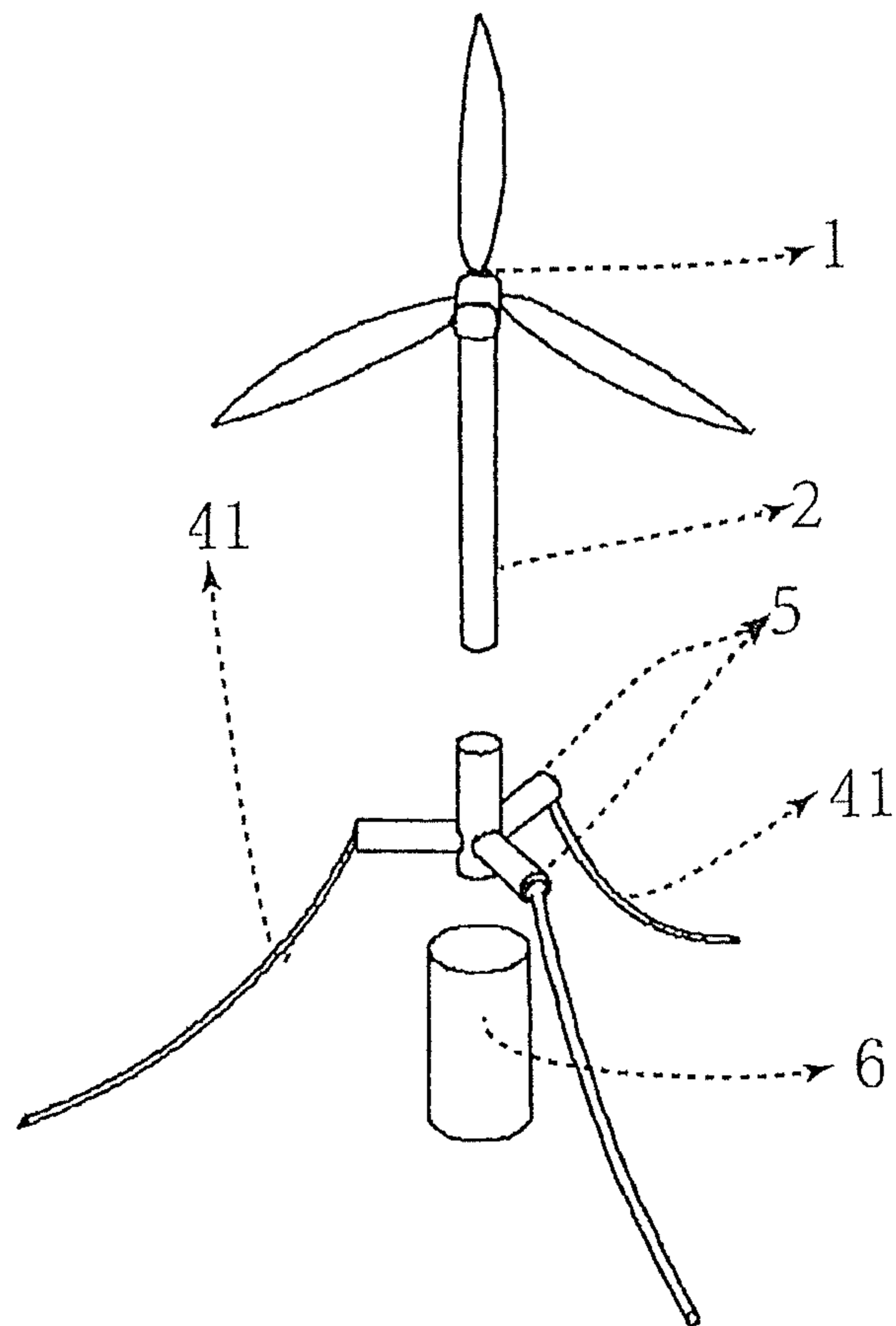
Figur 1



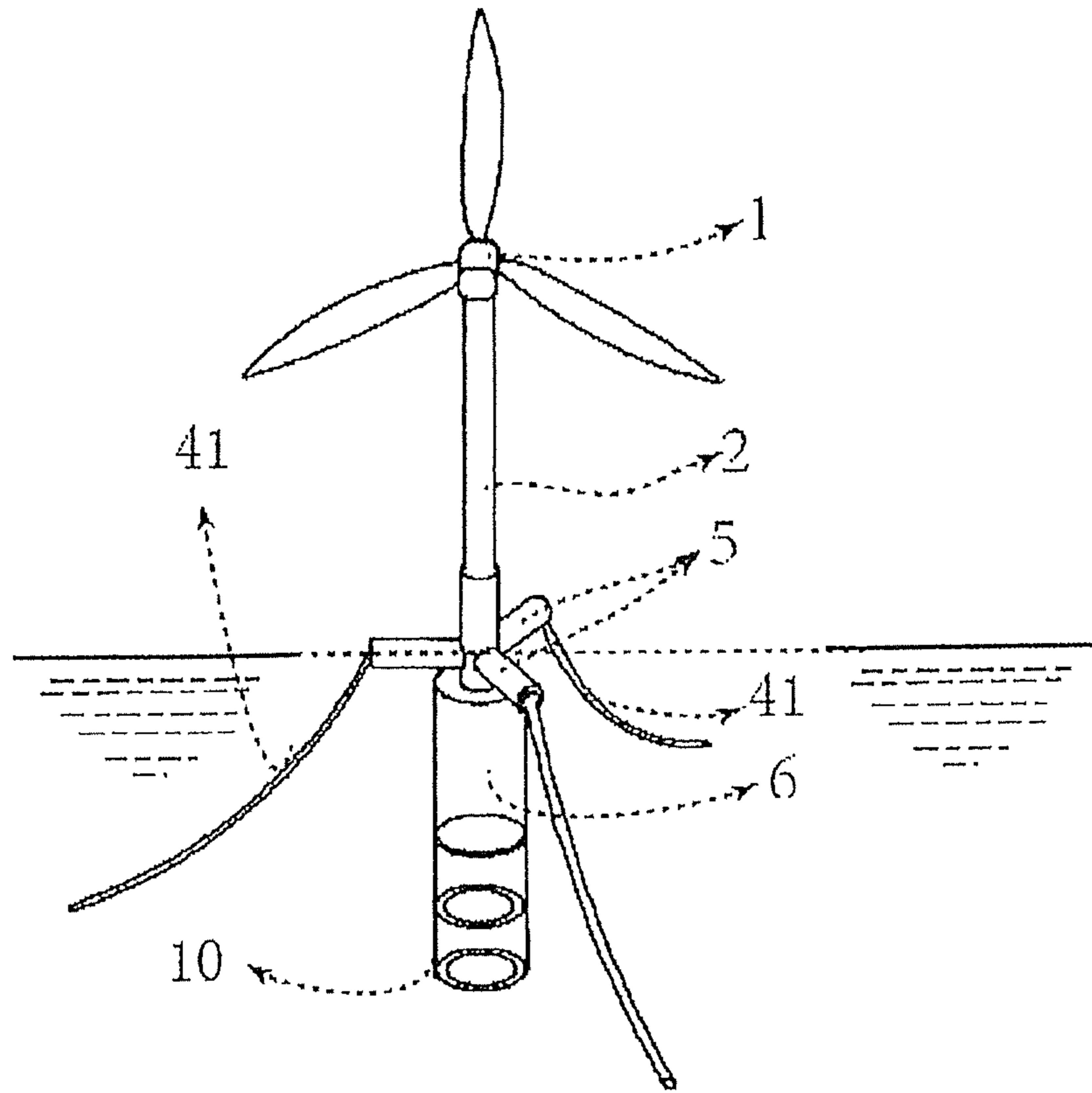
Figur 2



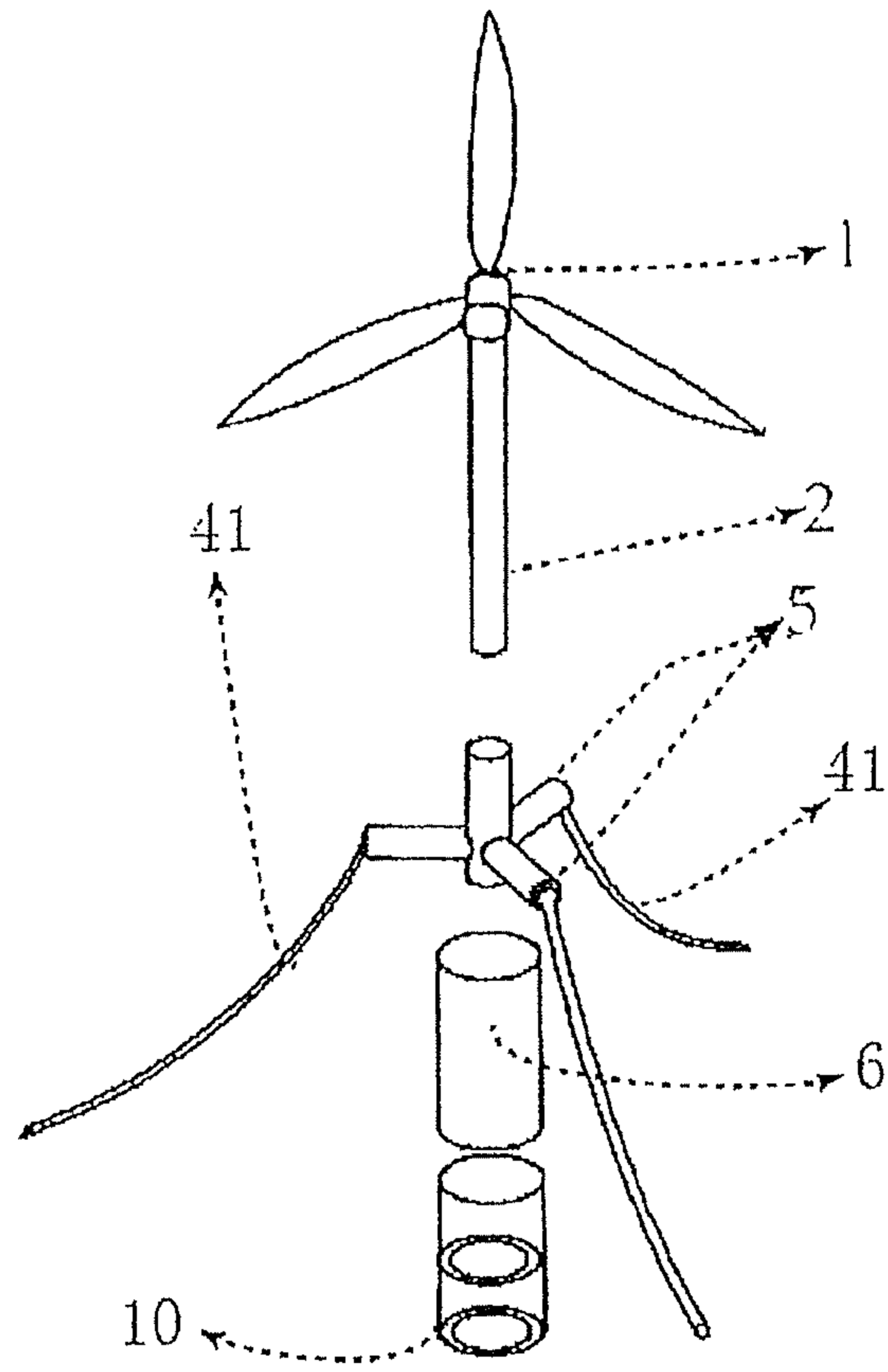
Figur 3



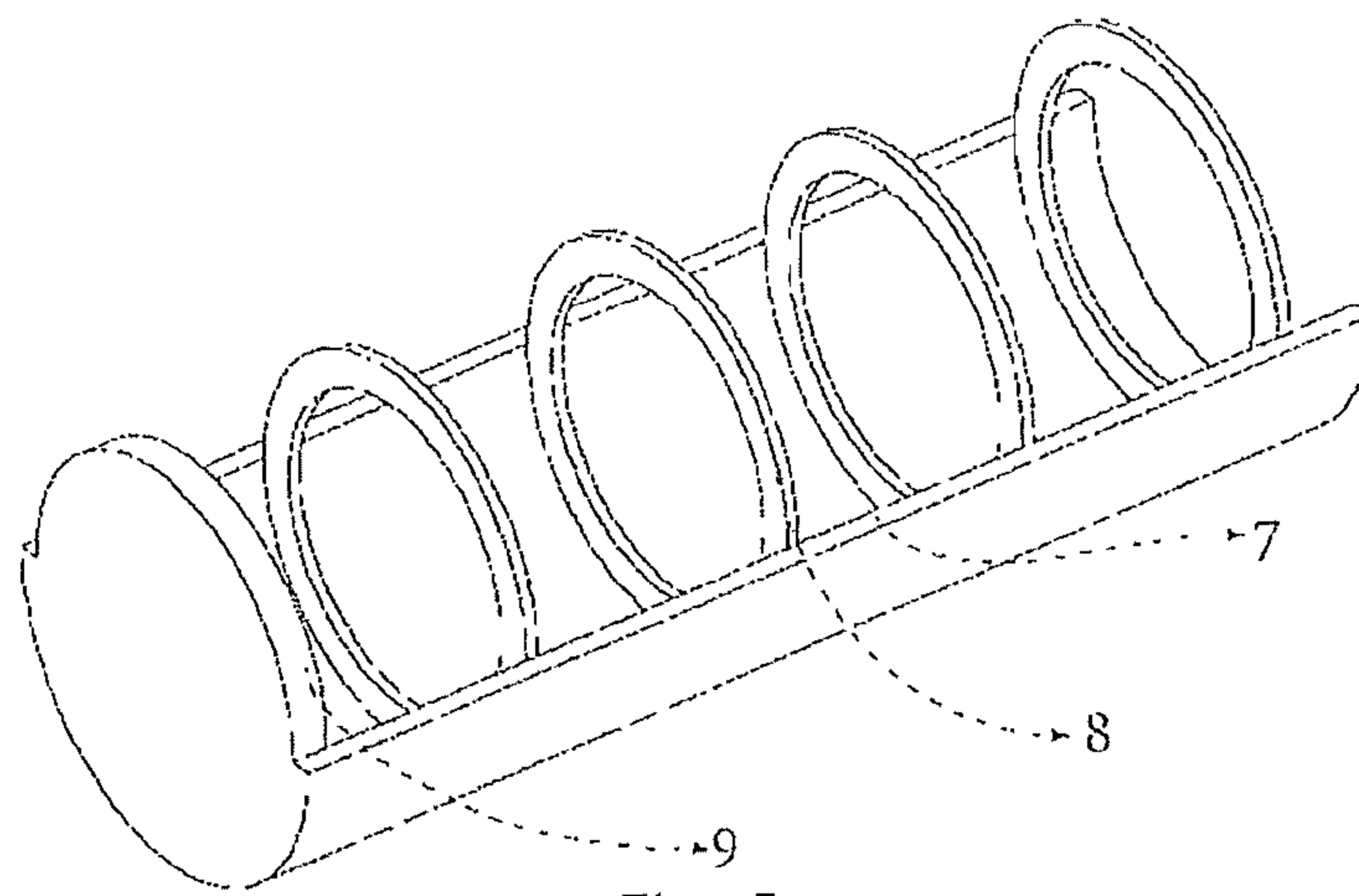
Figur 4



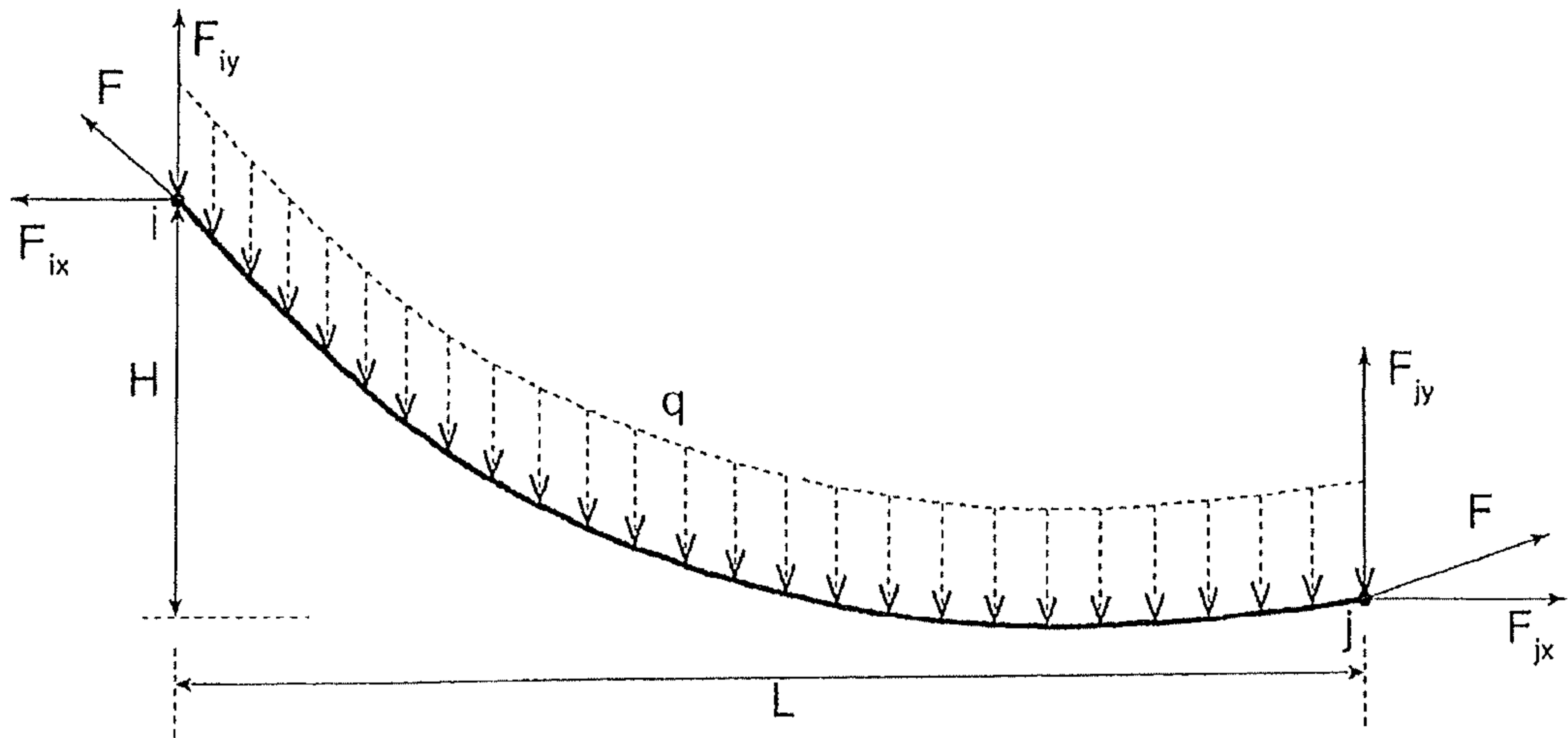
Figur 5



Figur 6



Figur 7



Figur 8