



(10) **DE 10 2011 107 286 A1** 2013.01.10

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 107 286.5**

(22) Anmeldetag: **06.07.2011**

(43) Offenlegungstag: **10.01.2013**

(51) Int Cl.: **F03B 15/18 (2011.01)**

(71) Anmelder:

Voith Patent GmbH, 89522, Heidenheim, DE

(74) Vertreter:

Dr. Weitzel & Partner, 89522, Heidenheim, DE

(72) Erfinder:

**Holstein, Benjamin, 89518, Heidenheim, DE;
Perner, Norman, 89233, Neu-Ulm, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	197 19 406	C1
DE	10 2008 053 732	B3
DE	10 2008 007 043	A1
DE	698 25 405	T2
GB	2 394 515	A

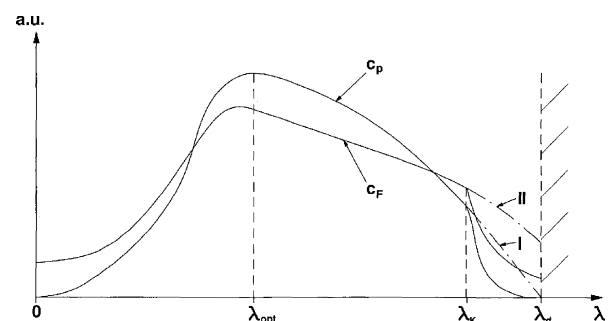
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Strömungskraftwerk und Verfahren für dessen Betrieb**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Strömungskraftwerks, umfassend eine Wasserturbine mit mehreren als Auftriebsläufer ausgebildeten Rotorblättern, einen elektrischen Generator, der von der Wasserturbine wenigstens mittelbar angetrieben wird, wobei die Wasserturbine zur Leistungsbegrenzung in einen Überdrehzahlbereich oberhalb einer leistungsoptimalen Schnelllaufzahl geführt wird.

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Wasserturbine so auf die Tauchtiefe des Strömungskraftwerks abgestimmt wird, dass im Überdrehzahlbereich ab einer Kavitations-Schnelllaufzahlschwelle, die unterhalb einer der Durchgangsdrehzahl zugeordneten Schnelllaufzahl liegt, wenigstens an einem Rotorblatteilbereich Kavitation auftritt und die Wasserturbine zur Lastbegrenzung mit Schnelllaufzahlen bis oberhalb der Kavitations-Schnelllaufzahlschwelle betrieben wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Strömungskraftwerk gemäß den oberbegrifflichen Merkmalen der unabhängigen Ansprüche, das insbesondere als Gezeitenkraftwerk eingesetzt wird, sowie ein Verfahren für dessen Betrieb.

[0002] Strömungskraftwerke mit propellerförmigen, als Auftriebsläufer ausgebildeten Wasserturbinen in Verbindung mit einem elektrischen Generator, die als freistehende Einheiten von einer Gewässerströmung angetrieben werden, sind bekannt. Vorliegend wird ein Axialturbinen-Design mit einer horizontalen Drehachse bevorzugt. Dabei bietet sich der Einsatz solcher Strömungskraftwerke zur Energiegewinnung aus einem Fließgewässer oder einer Meeresströmung an Orten an, an denen keine umfangreichen Sperrwerke errichtet werden können. Zur Energiegewinnung aus Gezeiten kann eine Wasserturbine mit einem bidirektional anströmbaren Profil verwendet werden oder das Strömungskraftwerk lässt sich als Ganzes bei einem Strömungsrichtungswechsel nachführen.

[0003] Ohne die typischerweise in Dammstrukturen vorgesehenen Verschlussmechanismen in den zur Wasserturbine führenden Strömungskanälen, besteht bei Überlast für gattungsgemäße Strömungskraftwerke keine Möglichkeit zur Abkopplung von der Umgebungsströmung. Entsprechend müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die Anlagen im Fall einer Starkanströmung zu schützen.

[0004] Eine Möglichkeit zur Leistungs- und Lastabregelung besteht darin, die Wasserturbine mit drehbar an einem Nabenteil befestigten Rotorblättern auszustatten. Zur Abregelung werden bei dieser Bauform die Rotorblätter in die Fahnenstellung geführt. Die hierfür notwendige, drehbare Rotorblatthalterung ist jedoch insbesondere für die zur effizienten Energiegewinnung aus langsam fließenden Strömungen notwendigen, großbauenden Anlagen konstruktiv aufwendig. Des Weiteren stellen die für die Blattwinkelleinstellung verwendeten Lagerungskomponenten und Aktoren sowie die zugehörige Steuerung ein erhöhtes Ausfallrisiko dar. Da gattungsgemäße Anlagen typischerweise vollständig tauchen, kann eine Anlagenwartung nur erschwert ausgeführt werden, sodass ein vereinfachtes Anlagenkonzept mit drehstarr angelenkten Rotorblättern zu einer Anlage mit einer höheren Lebensdauer führt.

[0005] Eine alternative Maßnahme zur Abregelung, die insbesondere für Wasserturbinen mit drehstarr befestigten Rotorblättern verwendet wird, besteht darin, das Strömungskraftwerk beim Erreichen einer vorgegebenen Leistungs- oder Lastschwelle mit einer Schnelllaufzahl oberhalb der leistungsoptimalen Schnelllaufzahl zu betreiben. Exemplarisch wird auf

die DE 10 2008 053 732 B3 verwiesen. Dabei stellt die Schnelllaufzahl das Verhältnis zwischen der Blattspitzengeschwindigkeit und der über den Rotorkreis gemittelten Anströmungsgeschwindigkeit dar.

[0006] Der für die Abregelung verwendete Überdrehzahlbereich reicht von der leistungsoptimalen Schnelllaufzahl bis zu einer der Durchgangsdrehzahl zugeordneten Schnelllaufzahl, für die das bremsende Generatormoment wegfällt. Dabei können die zur Abregelung bei einer Starkanströmung verwendeten Schnelllaufzahlen zu Fliehkräften führen, die die Anlage stark belasten. Für hohe Schnelllaufzahlen wird die von der Wasserturbine aufgenommene Leistung effektiv reduziert, allerdings nehmen die von der Wasserturbine aufgenommenen Schubkräfte nicht in gleichem Maße ab. So liegt bei der Durchgangsdrehzahl ein Schubbeiwert vor, für den bei einer weiter zunehmenden mittleren Anströmungsgeschwindigkeit kritische Schublasten auf die Anlage einwirken können.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Strömungskraftwerk und ein Verfahren für den Betrieb einer Wasserturbine im Überdrehzahlbereich anzugeben, das eine effektive Abregelung bezüglich der Leistung und der Lasten, insbesondere der axialen Schublast, bereits bei kleinen Schnelllaufzahlen bewirkt. Insbesondere soll eine Abregelung für eine Schnelllaufzahl erfolgen, die hinreichend unterhalb der Durchgangsdrehzahl zugeordneten Schnelllaufzahl liegt.

[0008] Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0009] Dabei geht die Erfindung von einem gattungsgemäßen Strömungskraftwerk, insbesondere einem Gezeitenkraftwerk, aus. Dies betrifft ein Strömungskraftwerk, das eine Wasserturbine mit mehreren Rotorblättern umfasst, die als Auftriebsläufer ausgeführt sind. Besonders bevorzugt wird eine Horizontalläufer-turbine. Die Wasserturbine treibt wenigstens mittelbar einen elektrischen Generator an, wobei ein Direktantrieb, das heißt eine drehstarre Kopplung des elektrischen Generators mit der Wasserturbine über eine Antriebswelle, bevorzugt wird. Alternativ kann die Kopplung zwischen dem elektrischen Generator und der Wasserturbine mittelbar, beispielsweise über eine zwischengeschaltete hydrodynamische Kuppelung, erfolgen.

[0010] Demgemäß wird eine Ausgestaltung bevorzugt, für die das vom elektrischen Generator erzeugte Generatormoment bremsend auf die Wasserturbine wirkt, wobei durch eine Steuerung oder Regelung der Laststrom zur Anpassung der Statorspannungskomponenten (d , q) des elektrischen Genera-

tors und damit zur Vorgabe eines bestimmten Generatormoments eingestellt werden kann. Diese Steuervorrichtung für den elektrischen Generator wird beispielsweise mittels eines Frequenzumrichters realisiert, der einen Gleichspannungszwischenkreis, einen generatorseitigen Gleichrichter und einen netzseitigen Wechselrichter zur Netzaufschaltung des elektrischen Generators aufweist. Dabei gibt der generatorseitige Gleichrichter den Laststrom am Generatorstator vor.

[0011] Zur Begrenzung der aus der Strömung aufgenommenen Leistung wird die Wasserturbine ab einer vorgegebenen Nominalleistung durch die Führung in den Überdrehzahlbereich abgeregelt. Hierzu wird die Schnelllaufzahl λ der Wasserturbine gegenüber der leistungsoptimalen Schnelllaufzahl λ_{opt} zu größeren Werten verschoben. Dabei kann der Schnelllauf der Wasserturbine bis zur Durchgangsdrehzahl ausgeführt werden, für die lediglich die Reibungsverluste als Bremsmomente auf die Wasserturbine wirken, das heißt das Generatormoment fällt vollständig weg. Dabei hängt die Durchgangsdrehzahl von der mittleren Anströmungsgeschwindigkeit ab, wobei eine der Durchgangsdrehzahl zugeordnete Schnelllaufzahl λ_d im Wesentlichen konstant bleibt.

[0012] Erfindungsgemäß wird die Abregelung eines gattungsgemäßen Strömungskraftwerks in einem Bereich ausgeführt, der von der der Durchgangsdrehzahl zugeordneten Schnelllaufzahl λ_d hinreichend in Richtung zu niedrigeren Schnelllaufzahlen λ beabstandet ist. Dabei resultiert eine Sicherheitsreserve bis die Wasserturbine durch eine vollständige Wegnahme des Generatormoments freigegeben wird. Zu diesem Zweck wird erfindungsgemäß die Charakteristik der Wasserturbine für den Betrieb bei Kavitation angepasst, da beim Eintritt der Kavitation die Leistungsbeiwert- und des Schubbeiwertkurven mit zunehmender Schnelllaufzahl λ steil abfallen.

[0013] Die Wasserturbine wird so auf die Tauchtiefe des Strömungskraftwerks abgestimmt, dass im Überdrehzahlbereich, das heißt oberhalb einer leistungsoptimalen Schnelllaufzahl λ_{opt} , eine Kavitations-Schnelllaufzahlschwelle λ_k festgelegt wird, die hinreichend deutlich unterhalb der der Durchgangsdrehzahl zugeordneten Schnelllaufzahl λ_d liegt. Dabei sind in einer Steuervorrichtung Lastbegrenzungsmittel vorgesehen, die die Schnelllaufzahl λ für die Wasserturbine derart einstellen, dass bei einer starken Anströmung ein Wert für λ oberhalb der Kavitations-Schnelllaufzahlschwelle λ_k folgt. Dabei wird Folgendes bewirkt: Durch den abrupten Abfall des Leistungsbeiwerts der Wasserturbine beim Eintritt der Kavitation erfolgt eine Abregelung bereits bei verhältnismäßig kleinen Schnelllaufzahlen λ , sodass an der umlaufenden Einheit des Strömungskraftwerks geringere Fliehkräfte abzufangen sind. Damit können für den Normalbetrieb, das heißt im leistungsoptima-

len Betrieb mit der leistungsoptimalen Schnelllaufzahl λ_{opt} , relativ hohe Schnelllaufzahlen λ verwendet werden, sodass eine vereinfachte Lagerung resultiert. Es können insbesondere Gleitlager eingesetzt werden. Des Weiteren ermöglichen hinreichend hohe Drehzahlen im leistungsoptimalen Betrieb einen kleinbauenden elektrischen Generator.

[0014] Unter Starkanströmungsbedingungen, für die die Wasserturbine im Kavitationsbereich umläuft, resultieren hohe Blattspitzengeschwindigkeiten. Dabei entsteht beim Platzen der Kavitationsblasen Schall, der Meeresbewohner von den in diesem Fall schnell umlaufenden Rotorblättern fernhält. Des Weiteren reinigt die Kavitation maritimen Bewuchs auf den Rotorblättern.

[0015] Dabei bezieht sich eine Abregelung des Strömungskraftwerks neben der Begrenzung der von der Wasserturbine aufgenommenen Leistung bevorzugt auf eine Limitierung der Schubkraft der Wasserturbine in Rotationsrichtung. Die Schubkraft am Rotor kann oberhalb einer vorgegebenen Lastschwelle durch eine Verlagerung zu höheren Schnelllaufzahlen λ reduziert werden. Dabei wird erfindungsgemäß der sich aus der erfindungsgemäßen Rotorcharakteristik ergebende scharfe Abfall des Schubbeiwerts c_F beim Eintritt der Kavitation genutzt. Andernfalls sind für die Abregelung wesentlich höhere Drehzahlen notwendig, sodass die Gefahr besteht, dass die Durchgangsdrehzahl erreicht wird, wobei in diesem Fall eine weiter zunehmende mittlere Anströmungsgeschwindigkeit die von der Wasserturbine eingetragene Schublast sukzessiv erhöht.

[0016] Zur kavitationsbeständigen Auslegung des Rotors werden bevorzugt die von der Kavitation betroffenen Teile der Rotorblätter mit einer Schutzbeschichtung versehen. Zu diesem Zweck kann ein Elastomer aufgetragen werden. Als Alternative werden an den Stellen der Rotorblattoberfläche, an denen Kavitation zu erwarten ist, kavitationsbeständige Abdeckungen, zum Beispiel Kunststoffelemente, auf den lasttragenden Strukturen verankert. Dabei ist die Rotorcharakteristik so auf die Tauchtiefe abgestimmt, dass die Kavitation lokal auf den Blattspitzenbereich beschränkt ist. Bevorzugt ist der Bereich des Rotorblatts, auf dem bei einer Stellung am Scheitelpunkt des Rotorkreises Kavitation auftreten kann, auf das radial äußere Drittel der Längserstreckung des Blatts beschränkt.

[0017] Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und im Zusammenhang mit Figurendarstellungen detaillierter erläutert, in denen im Einzelnen Folgendes dargestellt ist:

[0018] [Fig. 1](#) zeigt einen exemplarischen Verlauf des Leistungsbeiwerts für die Wasserturbine eines er-

findungsgemäßen Strömungskraftwerks im Vergleich zu einer Ausführung gemäß dem Stand der Technik.

[0019] **Fig. 2** zeigt ein erfindungsgemäßes Strömungskraftwerk.

[0020] **Fig. 3** zeigt den leistungs- und lastabgeregelten Betrieb für ein erfindungsgemäßes Strömungskraftwerk.

[0021] **Fig. 2** zeigt in schematisch vereinfachter Darstellung ein erfindungsgemäßes Strömungskraftwerk **1**, das sich über einen Turm **5** und ein Schwerkraftfundament **8** gegen einen Gewässergrund **9** abstützt. Dabei liegt das Strömungskraftwerk **1** vollständig unter der Wasseroberfläche **10**.

[0022] Die umlaufende Einheit **2** des Strömungskraftwerks **1** umfasst eine propellerförmige Wasserturbine **3** mit drei Rotorblättern **4.1**, **4.2**, **4.3**. Jedes Rotorblatt **4.1**, **4.2**, **4.3** weist auf der radial äußeren Hälfte eine kavitationsbeständige Beschichtung **6.1**, **6.2**, **6.3** auf, die als Elastomerbeschichtung ausgebildet ist. Des Weiteren ist ein elektrischer Generator **11** bevorzugt drehstarr mit der Wasserturbine **3** verbunden. Diesem ist eine Steuereinrichtung **12** zugeordnet, die zur Einstellung des Generatormoments dient, wobei die Drehzahlführung der Wasserturbine **3** anhand einer vorgegebenen Schnelllaufzahl λ erfolgt. Dabei umfasst die Steuervorrichtung **12** Lastbegrenzungsmittel **13** zur Einstellung von Schnelllaufzahlen λ bis oberhalb einer Kavitations-Schnelllaufzahlschwelle λ_k .

[0023] Ferner zeigt **Fig. 2** das erfindungsgemäße Strömungskraftwerk beim Betrieb im Überdrehzahlbereich, das heißt für eine Schnelllaufzahl λ oberhalb der leistungsoptimalen Schnelllaufzahl λ_{opt} im Fall einer Starkanströmung. An den Spitzen der Rotorblätter **4.1**, **4.2**, **4.3** bilden sich an den Rotorblattteilbereichen **7.1**, **7.2**, **7.3** Kavitationsblasen, wobei die Kavitation beim Durchlaufen des Scheitelpunkts **S** am deutlichsten ausgeprägt ist und die maximale räumliche Ausdehnung auf dem jeweiligen Rotorblatt **4.1**, **4.2**, **4.3** aufweist. Dabei ist die Rotorcharakteristik in Abhängigkeit der Tauchtiefe **T** des Strömungskraftwerks **1** so ausgebildet, dass die Kavitation auf den Bereich der kavitationsbeständigen Beschichtung **6.1**, **6.2**, **6.3** beschränkt ist.

[0024] **Fig. 1** zeigt die Wirkung der für den Kavitationsbetrieb ausgelegten Wasserturbine **3**. Dargestellt ist der Verlauf des Leistungsbeiwerts c_p sowie des Schubbeiwerts c_F gegen die Schnelllaufzahl λ . Dabei berechnet sich der Leistungsbeiwert c_p aus der von der Wasserturbine **3** aufgenommenen Leistung P , der Dichte ρ des Strömungsmediums, der gemittelten Anströmungsgeschwindigkeit v sowie dem Rotorradius r wie folgt:

$$c_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot \pi \cdot r^2}$$

[0025] Der Leistungsbeiwert c_p weist ein Maximum für eine leistungsoptimale Schnelllaufzahl λ_{opt} auf.

[0026] Ferner bestimmt sich der Schubbeiwert c_F aus der Schubkraft F in Richtung der Rotationsachse der Wasserturbine **3**, der Dichte ρ des Strömungsmediums, der Bemittelten Anströmungsgeschwindigkeit v sowie dem Rotorradius r wie folgt:

$$c_F = \frac{F}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \pi \cdot r^2}$$

[0027] Die durchgezogenen Kurven in **Fig. 1** stellen die Charakteristik der Wasserturbine **3** gemäß einer erfindungsgemäßen Ausführung dar. Dabei liegt eine Kavitations-Schnelllaufzahlschwelle λ_k vor, oberhalb der Kavitation auftritt. Ersichtlich ist ein starker Abfall des Leistungsbeiwerts c_p und des Schubbeiwerts c_F für Schnelllaufzahlen λ oberhalb der Kavitations-Schnelllaufzahlschwelle λ_k . Ein entsprechender Abfall liegt nicht für eine Wasserturbine **3** ohne den Eintritt der Kavitation vor. Dies ist anhand strichpunktierter dargestellten Kurven **I** und **II** für eine nicht für den Kavitationsbetrieb ausgelegte Wasserturbine dargestellt. Diese zeigen deutlich höhere Leistungsbeiwerte c_p und Schubbeiwerte c_F , sodass die Abregelung eines nicht kavitierenden Gezeitenkraftwerks gegenüber der erfindungsgemäßen Ausführung zu deutlich höheren Schnelllaufzahlen λ im Bereich der der Durchgangsdrehzahl n_d zugeordneten Schnelllaufzahl λ_d führt. Besonders bevorzugt wird eine Wasserturbine deren Rotorprofil, insbesondere das gewählte Rotorprofil, im Verhältnis zur Tauchtiefe so angelegt ist, dass für die Kavitations-Schnelllaufzahlschwelle λ_k Folgendes gilt: $\lambda_k < 0,9\lambda_d$ und besonderes bevorzugt $\lambda_k < 0,8\lambda_d$.

[0028] Durch die erfindungsgemäß genutzten Kavitationseffekte erfolgt eine Abregelung bereits bei relativ niedrigen Schnelllaufzahlen λ , sodass mit einer hinreichend hohen leistungsoptimalen Schnelllaufzahl λ_{opt} gearbeitet werden kann. Dies ermöglicht einen Anlagennormalbetrieb mit einer schnell laufenden Wasserturbine **3**, sodass sich die Lagerauslegung vereinfacht und eine kleinere Baugröße für den elektrischen Generator ausreicht.

[0029] **Fig. 3** zeigt den Lastverlauf anhand der axialen Schublast F gegen eine gemittelte Anströmungsgeschwindigkeit v für ein erfindungsgemäßes Strömungskraftwerk **1**. In einem ersten leistungsoptimalen Betriebsbereich B_1 arbeitet die Wasserturbine **3** mit einer leistungsoptimalen Schnelllaufzahl λ_{opt} . Beim Erreichen der Nennleistung bei der gemittelten Anströmungsgeschwindigkeit v_0 erfolgt ein Über-

gang zu einem leistungsbeschränkten Betriebsbereich B_2 , wobei eine leistungsbegrenzte Schnelllaufzahl λ_r verwendet wird. Ein weiterer Wechsel des Betriebszustands wird bei einer vorgegebenen Schublastschwelle F_L ausgeführt, wobei die Wasserturbine anhand eines vorgegebenen Verlaufs für eine lastbeschränkte Schnelllaufzahl λ_F und damit in einem schublastbegrenzten Betriebsbereich B_3 geführt wird. Hierdurch erfolgt bezüglich der Schublast F eine Abregelung der Anlage für eine Starkanströmung mit einer gemittelten Anströmungsgeschwindigkeit v oberhalb v_1 .

[0030] Eine gemittelte Anströmungsgeschwindigkeit v oberhalb v_2 stellt einen Bereich dar, für den die Durchgangsdrehzahl n_d erreicht ist. Entsprechend bleibt die Schnelllaufzahl λ auf einer gleichbleibenden, der Durchgangsdrehzahl n_d zugeordneten Schnelllaufzahl λ_d . Demnach führt eine Erhöhung der gemittelten Anströmungsgeschwindigkeit v im Überlastbereich B_4 zu einer erneuten Zunahme der Schublast F , die über die Anlagenauslegung hinausgehen kann. Daher sollte im vorausgehenden lastbegrenzten Betriebsbereich B_3 bereits für hinreichend kleine Schnelllaufzahlen λ eine effektive Abregelung erreicht werden. Eine solche folgt aus dem erfindungsgemäßen Kavitationsbetrieb entlang der durchgezogenen Kurve im lastbegrenzten Betriebsbereich B_3 für die eingestellte lastbegrenzte Schnelllaufzahl λ_F . Im Vergleich hierzu verdeutlicht die strichpunktierete Kurve **III** den Verlauf ohne den Eintritt der Kavitation.

[0031] Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind im Rahmen der nachfolgenden Schutzansprüche denkbar, wobei die Erfindung neben den voranstehend dargestellten als Horizontalläufer ausgebildeten Anlagen auch auf Vertikalachsrotoren übertragen werden kann. Ferner sind Ausführungen mit einer Mantelturbine denkbar.

λ	Schnelllaufzahl
λ_{opt}	leistungsoptimale Schnelllaufzahl
λ_k	Kavitations-Schnelllaufzahlschwelle
λ_d	der Durchgangsdrehzahl zugeordnete Schnelllaufzahl
λ_F	lastbegrenzte Schnelllaufzahl
λ_r	leistungsbegrenzte Schnelllaufzahl
B_1	leistungsoptimalen Betriebsbereich
B_2	leistungsbeschränkten Betriebsbereich
B_3	lastbegrenzten Betriebsbereich
B_4	Überlastbereich

Bezugszeichenliste

1	Strömungskraftwerk
2	umlaufende Einheit
3	Wasserturbine
4.1, 4.2, 4.3	Rotorblatt
5	Turm
6.1, 6.2, 6.3	kavitationsbeständige Beschichtung
7.1, 7.2, 7.3	Rotorblatt
8	Schwerkraftfundament
9	Gewässergrund
10	Wasseroberfläche
11	elektrischen Generator
12	Steuervorrichtung
13	Lastbegrenzungsmittel
c_p	Leistungsbeiwert
c_F	Schubbeiwert
n_k	Durchgangsdrehzahl

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- DE 102008053732 B3 [[0005](#)]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Strömungskraftwerks (1), umfassend

1.1 eine Wasserturbine (3) mit mehreren als Auftriebsläufer ausgebildeten Rotorblättern (4.1, 4.2, 4.3);

1.2 einen elektrischen Generator (11), der von der Wasserturbine (3) wenigstens mittelbar angetrieben wird;

1.3 wobei die Wasserturbine (3) zur Leistungsbegrenzung in einen Überdrehzahlbereich oberhalb einer leistungsoptimalen Schnelllaufzahl (λ_{opt}) geführt wird;

dadurch gekennzeichnet, dass

1.4 die Wasserturbine (3) so auf die Tauchtiefe (T) des Strömungskraftwerks (1) abgestimmt wird, dass im Überdrehzahlbereich ab einer Kavitations-Schnelllaufzahlschwelle (λ_k), die unterhalb einer der Durchgangsdrehzahl (n_k) zugeordneten Schnelllaufzahl (λ_d) liegt, wenigstens an einem Rotorblattteilbereich (7.1, 7.2, 7.3) Kavitation auftritt und die Wasserturbine (3) zur Lastbegrenzung mit Schnelllaufzahlen (λ) betrieben wird, die oberhalb der Kavitations-Schnelllaufzahlschwelle (λ_k) liegen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zur Lastbegrenzung die Schnelllaufzahl (λ) durch eine Steuerung oder Regelung eines die Wasserturbine (3) bremsenden Generatormoments eingestellt wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei für die zur Lastbegrenzung einstellbaren Schnelllaufzahlen (λ) der Rotorblattteilbereich (7.1, 7.2, 7.3) an dem Kavitation auftritt räumlich begrenzt ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Rotorblattteilbereich (7.1, 7.2, 7.3) an dem Kavitation auftritt auf das radial äußere Drittel der Längserstreckung der Rotorblätter (4.1, 4.2, 4.3) begrenzt ist.

5. Verfahren nach einem der vorausgehenden Ansprüche, wobei die der Durchgangsdrehzahl zugeordnete Schnelllaufzahl (λ_d) für eine Anströmung erreicht wird, die eine der Anlagenauslegung zugrundeliegende Maximalanströmung übersteigt.

6. Strömungskraftwerk, umfassend

6.1 eine Wasserturbine (3) mit mehreren als Auftriebsläufer ausgebildeten Rotorblättern (4.1, 4.2, 4.3);

6.2 einen elektrischen Generator (11), der von der Wasserturbine (3) wenigstens mittelbar angetrieben wird;

6.3 eine Steuervorrichtung (12) für den elektrischen Generator (11), zur Führung der Wasserturbine (3) in einen Überdrehzahlbereich oberhalb einer leistungsoptimalen Schnelllaufzahl (λ_{opt});

dadurch gekennzeichnet, dass

6.4 die Wasserturbine (3) so auf die Tauchtiefe (T) des Strömungskraftwerks (1) abgestimmt ist, dass im Überdrehzahlbereich ab einer Kavitations-Schnelllaufzahlschwelle (λ_k), die unterhalb einer der Durchgangsdrehzahl (n_d) zugeordneten Schnelllaufzahl (λ_d) liegt, wenigstens an einem Rotorblattteilbereich (7.1, 7.2, 7.3) Kavitation auftritt und die Steuervorrichtung (12) Lastbegrenzungsmittel (13) zur Einstellung von Schnelllaufzahlen (λ) für die Wasserturbine, die oberhalb der Kavitations-Schnelllaufzahlschwelle (λ_k) liegen, umfasst.

7. Strömungskraftwerk nach Anspruch 6, wobei die Rotorblätter (4.1, 4.2, 4.3) eine kavitationsbeständige Beschichtung (6.1, 6.2, 6.3) und/oder kavitationsbeständige Bauteile umfassen.

8. Strömungskraftwerk nach Anspruch 7, wobei die kavitationsbeständige Beschichtung (6.1, 6.2, 6.3) eine Elastomerschicht umfasst.

9. Strömungskraftwerk nach einem der Ansprüche 7 oder 8, wobei die kavitationsbeständige Beschichtung (6.1, 6.2, 6.3) und/oder die kavitationsbeständigen Bauteile auf dem radial äußeren Drittel der Längserstreckung der Rotorblätter (4.1, 4.2, 4.3) vorliegen.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

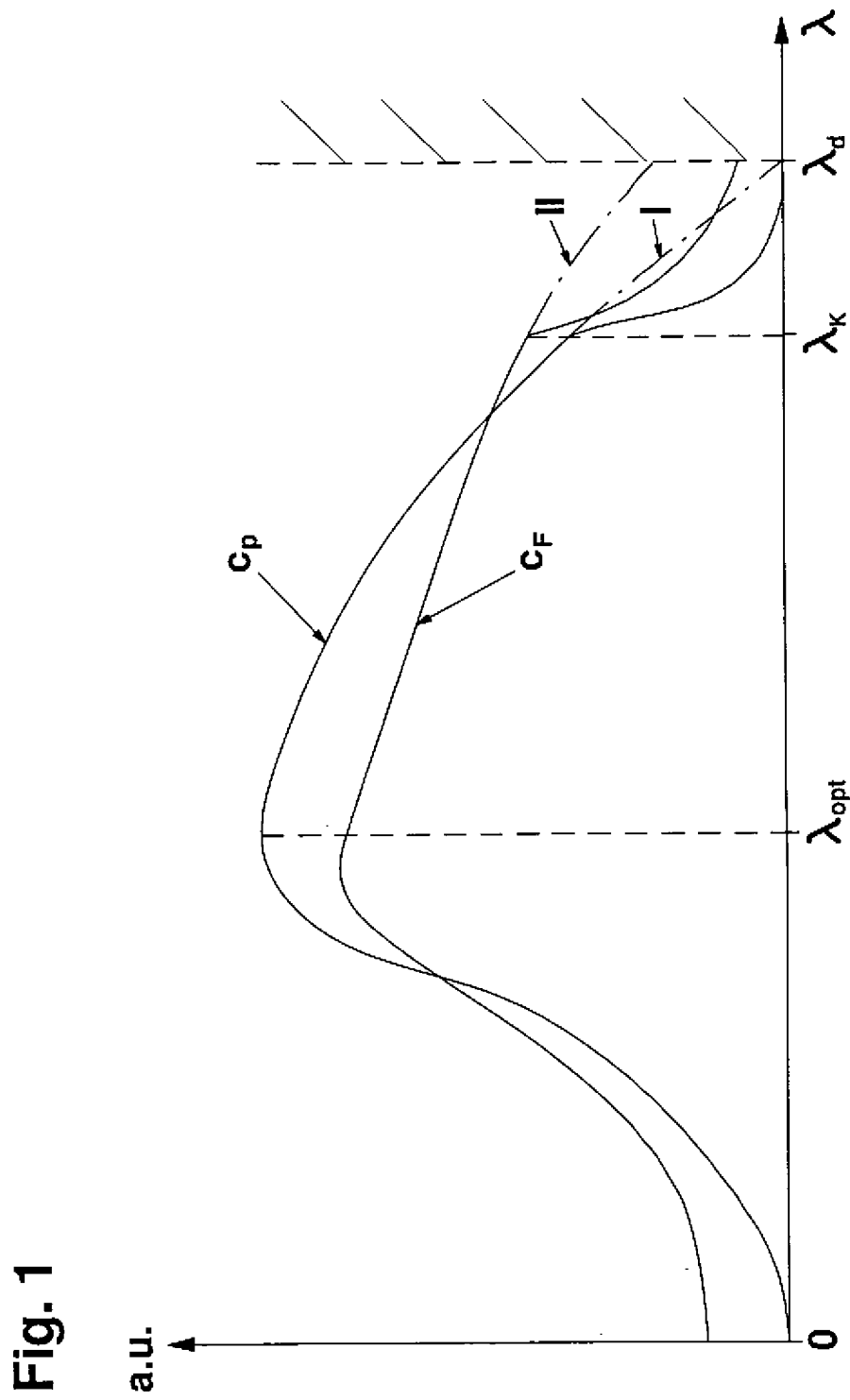


Fig. 1

Fig. 2

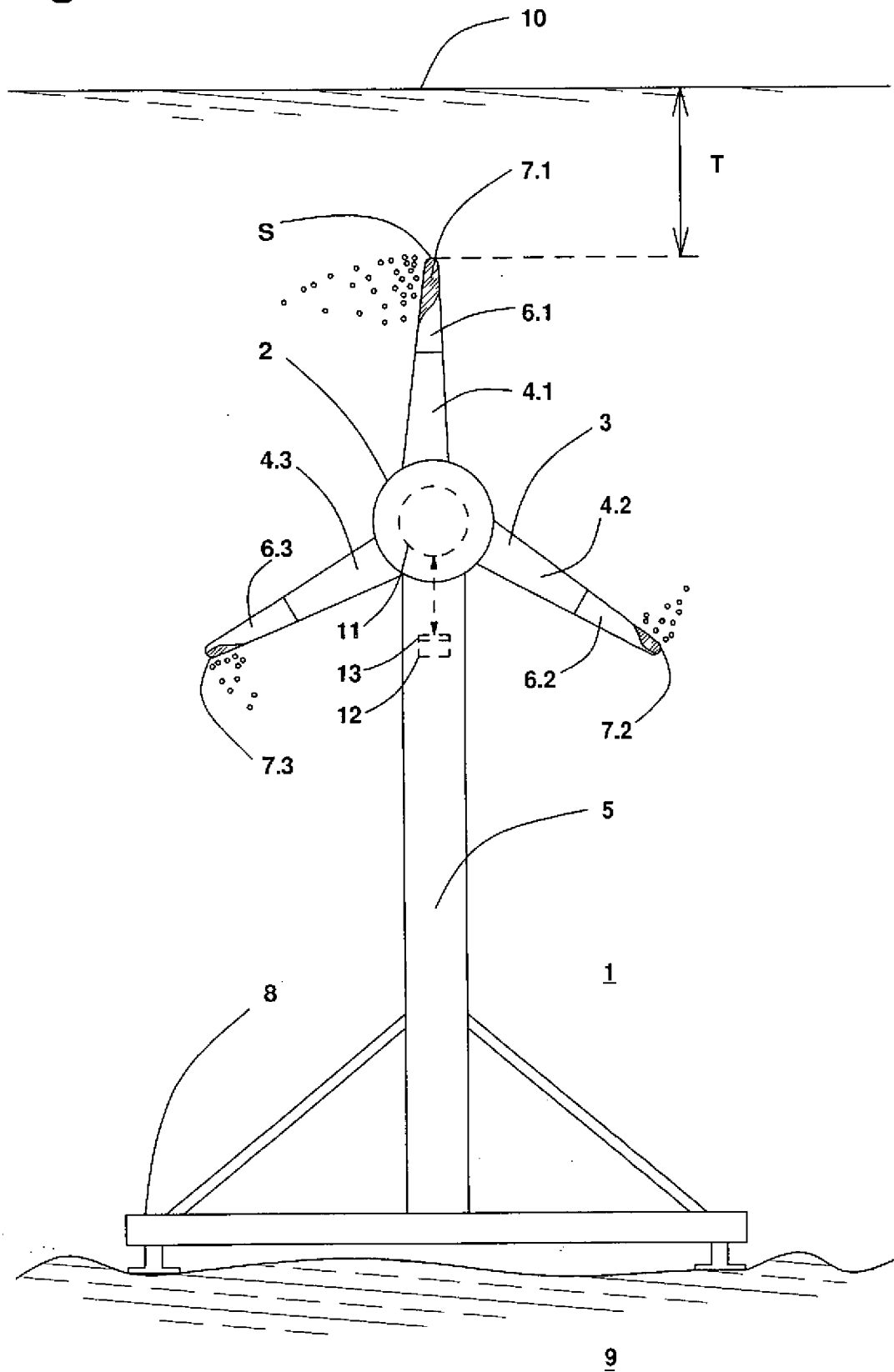


Fig. 3

